

**Untersuchung über die chemische
Zusammensetzung einiger Insektenfette**

Gerd Albrecht

Breitenbrunn b. Wunsiedel Fichtelgeb.

1960

Untersuchung über die chemische Zusammensetzung einiger

Insektenfette

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Ludwig - Maximilians - Universität

zu

München

vorgelegt von

G e r d A l b r e c h t

aus

Breitenbrunn b. Wunsiedel/Fichtelgeb.

Oktober 1960



1. Berichterstatter: Prof.Dr. H. Autrum
2. Berichterstatter: Prof.Dr. A. Kaestner

Tag der mündl. Prüfung: 30.Nov.1960

Für die Überlassung des Themas dieser Arbeit möchte ich Frau Prof. Dr. R. Beutler meinen Dank aussprechen. Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Autrum danken, der mir nach dem Tode von Frau Prof. Dr. R. Beutler die Fortführung meiner Arbeit am Zoologischen Institut München ermöglichte, und Herrn Prof. Dr. E. Klenk vom Chemisch-Physiologischen Institut der Universität Köln für seine wertvollen Ratschläge für die Zusammenstellung der Methode in dieser Arbeit.

Inhalt.

	Seite
1. Erklärung der Verhältnisse.....	1
2. Erklärung der Verhältnisse.....	3
3. Erklärung der Verhältnisse.....	5
4. Erklärung der Verhältnisse.....	7
5. Erklärung der Verhältnisse.....	9
6. Erklärung der Verhältnisse.....	11
7. Erklärung der Verhältnisse.....	13
8. Erklärung der Verhältnisse.....	15
9. Erklärung der Verhältnisse.....	17
10. Erklärung der Verhältnisse.....	19
11. Erklärung der Verhältnisse.....	21
12. Erklärung der Verhältnisse.....	23
13. Erklärung der Verhältnisse.....	25
14. Erklärung der Verhältnisse.....	27
15. Erklärung der Verhältnisse.....	29
16. Erklärung der Verhältnisse.....	31
17. Erklärung der Verhältnisse.....	33
18. Erklärung der Verhältnisse.....	35
19. Erklärung der Verhältnisse.....	37
20. Erklärung der Verhältnisse.....	39
21. Erklärung der Verhältnisse.....	41
22. Erklärung der Verhältnisse.....	43
23. Erklärung der Verhältnisse.....	45
24. Erklärung der Verhältnisse.....	47
25. Erklärung der Verhältnisse.....	49
26. Erklärung der Verhältnisse.....	51
27. Erklärung der Verhältnisse.....	53
28. Erklärung der Verhältnisse.....	55
29. Erklärung der Verhältnisse.....	57
30. Erklärung der Verhältnisse.....	59
31. Erklärung der Verhältnisse.....	61
32. Erklärung der Verhältnisse.....	63
33. Erklärung der Verhältnisse.....	65
34. Erklärung der Verhältnisse.....	67
35. Erklärung der Verhältnisse.....	69
36. Erklärung der Verhältnisse.....	71
37. Erklärung der Verhältnisse.....	73
38. Erklärung der Verhältnisse.....	75
39. Erklärung der Verhältnisse.....	77
40. Erklärung der Verhältnisse.....	79
41. Erklärung der Verhältnisse.....	81
42. Erklärung der Verhältnisse.....	83
43. Erklärung der Verhältnisse.....	85
44. Erklärung der Verhältnisse.....	87
45. Erklärung der Verhältnisse.....	89
46. Erklärung der Verhältnisse.....	91
47. Erklärung der Verhältnisse.....	93
48. Erklärung der Verhältnisse.....	95
49. Erklärung der Verhältnisse.....	97
50. Erklärung der Verhältnisse.....	99
51. Erklärung der Verhältnisse.....	101
52. Erklärung der Verhältnisse.....	103
53. Erklärung der Verhältnisse.....	105
54. Erklärung der Verhältnisse.....	107
55. Erklärung der Verhältnisse.....	109
56. Erklärung der Verhältnisse.....	111
57. Erklärung der Verhältnisse.....	113
58. Erklärung der Verhältnisse.....	115
59. Erklärung der Verhältnisse.....	117
60. Erklärung der Verhältnisse.....	119
61. Erklärung der Verhältnisse.....	121
62. Erklärung der Verhältnisse.....	123
63. Erklärung der Verhältnisse.....	125
64. Erklärung der Verhältnisse.....	127
65. Erklärung der Verhältnisse.....	129
66. Erklärung der Verhältnisse.....	131
67. Erklärung der Verhältnisse.....	133
68. Erklärung der Verhältnisse.....	135
69. Erklärung der Verhältnisse.....	137
70. Erklärung der Verhältnisse.....	139
71. Erklärung der Verhältnisse.....	141
72. Erklärung der Verhältnisse.....	143
73. Erklärung der Verhältnisse.....	145
74. Erklärung der Verhältnisse.....	147
75. Erklärung der Verhältnisse.....	149
76. Erklärung der Verhältnisse.....	151
77. Erklärung der Verhältnisse.....	153
78. Erklärung der Verhältnisse.....	155
79. Erklärung der Verhältnisse.....	157
80. Erklärung der Verhältnisse.....	159
81. Erklärung der Verhältnisse.....	161
82. Erklärung der Verhältnisse.....	163
83. Erklärung der Verhältnisse.....	165
84. Erklärung der Verhältnisse.....	167
85. Erklärung der Verhältnisse.....	169
86. Erklärung der Verhältnisse.....	171
87. Erklärung der Verhältnisse.....	173
88. Erklärung der Verhältnisse.....	175
89. Erklärung der Verhältnisse.....	177
90. Erklärung der Verhältnisse.....	179
91. Erklärung der Verhältnisse.....	181
92. Erklärung der Verhältnisse.....	183
93. Erklärung der Verhältnisse.....	185
94. Erklärung der Verhältnisse.....	187
95. Erklärung der Verhältnisse.....	189
96. Erklärung der Verhältnisse.....	191
97. Erklärung der Verhältnisse.....	193
98. Erklärung der Verhältnisse.....	195
99. Erklärung der Verhältnisse.....	197
100. Erklärung der Verhältnisse.....	199

Meinen lieben Eltern



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhalt.

	Seite
A. Einleitung und Problemstellung.....	1
B. Material und Methoden.....	3
C. Ergebnisse der Untersuchungen.....	8
1. Analysen des Körperfettes von Bienen.....	8
2. Analysen des Körperfettes einiger anderer Insekten.....	20
D. Diskussion.....	30
1. Literaturübersicht.....	30
2. Auswertung der Analysen.....	34
Zusammenfassung.....	44
Literatur.....	48

A. Einleitung und Problemstellung.

Über die chemische Zusammensetzung der Insektenfette ist relativ wenig bekannt (HILDITCH 1949, DEUEL 1957, TIMON-DAVID 1928 b). Dies hat verschiedene Gründe: Der Hauptgrund liegt wohl in der Durchführung der Fettanalysen selbst, die sowohl mit chemischen als auch mit histologischen Methoden verhältnismäßig schwierig ist. Außerdem steht das zur Untersuchung notwendige Rohfett von Insekten vielfach nicht in genügender Menge zur Verfügung. Trotzdem konnten einige Autoren wertvolle Ergebnisse mit solchen Analysen erlangen und einen Überblick über die chemische Beschaffenheit von Insektenfetten geben (BACHSTEZ und ARAGON 1942, HASTINGS und PEPPER 1944, IYER und AYYER 1931, JANOT und FAUDEMAY 1937, COLLIN 1933).

Weiterhin spielen Fette als Nahrungsstoffe für die Insekten der Menge nach im allgemeinen nur eine geringe Rolle, da kohlenhydratreiche Kost als Energiequelle meist in genügendem Umfang vorhanden ist. Es werden somit keine großen Fettdepots im Körper der Imagines angelegt. Die Hauptaufgabe der Fette ist auch hier die Speicherung von überschüssiger und Lieferung von gerade benötigter Energie; sie bieten Schutz gegen übermäßige Wasserverdunstung und -aufnahme durch die Körperoberfläche, beeinflussen die Zellpermeabilität und die Wärmeregulierung und stellen in gewisser Hinsicht die "Gelenkschmiere" zwischen den einzelnen Chitinringen des Insektenpanzers dar.

Da auf Grund präparativer Schwierigkeiten bei Insekten eine Trennung von Organlipiden, Speicherfetten und fettverwandten Zellprodukten, z.B. Insektenwachsen, nicht möglich ist, geben diese Untersuchungen nur die Zusammensetzung von Mischfetten wieder. Sie erlauben daher keine grundlegenden Aussagen im Vergleich mit den Organfetten höherer Tiere. Die rein chemisch

durchgeführten Analysen über solche Mischfette geben aber Aufschluß, wenn man die Fette verschiedener Insektenarten miteinander vergleicht. Dazu können vor allem die Gesamtlipidmenge und deren Fraktionen (Fett und Lipoide), die Kennzahlen des Fettes und die qualitativen und quantitativen Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung der Glyceride herangezogen werden.

Vergleichsmöglichkeiten sind gegeben, wenn man Insekten als Untersuchungsobjekte nimmt, die unter verschiedenen Bedingungen leben. Hierbei ist schon die Ökologie der Insekten wegweisend. Auf Grund verschiedener Ernährung können in Analogie zu den höheren Tieren wesentliche Unterschiede in der Fettzusammensetzung auch bei Insekten erwartet werden (COLLIN 1933, MANUNTA 1933, BACHSTEZ und ARAGON 1942). Es stand zu erwarten, daß sich der Fettkörper mit fortschreitendem Alter ändert und durch einen entsprechenden Stoffwechsel Umwandlungen in seiner qualitativen und quantitativen Beschaffenheit erfährt (TIMON-DAVID 1928 a). Auch die Lebensweise in Abhängigkeit vom äußeren Milieu, die Jahreszeit und vor allem die Tätigkeit ist von großem Einfluß auf den Insektenstoffwechsel und damit auf die Zusammensetzung der Körperbestandteile (SLIFER 1930). Sogar bei verschiedenen Geschlechtern konnten GIROL und GIROL (1943) hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung des Körperfettes Unterschiede beobachten. Dies ist ein Beispiel dafür, daß die Anpassung an bestimmte Funktionen auf verschiedene Art verwirklicht sein kann.

Es erschien angebracht, Insekten verschiedener Altersstufen und Entwicklungsstadien bzw. physiologischer Zustände zu untersuchen. Solche Untersuchungen erschienen besonders bei Bienen (*Apis mellifica* L.) zweckmäßig. Es konnten hierbei verschiedene Ernährungstypen sowie Typen verschiedenen Alters, physiologischen Zustandes und verschiedener Tätigkeit herangezogen werden. Ihnen wurden typische Vertreter aus anderen Insektenordnungen gegenübergestellt, deren Ernährung und Stoffwechsel grundlegend verschieden waren: Eiweißfresser wurden mit Feuchtfutter- und Trockenkostfressern verglichen, wobei die einen Fettverbrenner und die anderen typische Kohlenhydratverbrenner waren.

B. Material und Methoden.

Das Material wurde aus Zuchten entnommen, die am Zoologischen Institut in München zugänglich waren. Untersucht wurden im einzelnen die Imagines folgender Arten: *Apis mellifica* L. von verschiedenem Alter und in verschiedenen physiologischen Zuständen, und zwar frischgeschlüpfte Bienen, Baubienen, Flugbienen und Winterbienen; sowie *Calliphora erythrocephala* Meig., *Tenebrio molitor* L. und *Schistocerca gregaria* Forsk.

Gedeckelte Brutwaben wurden im April aus dem Stock entnommen und im Thermostaten bei 35° C gehalten. Die frischgeschlüpften Bienen wurden alle 1 - 2 Stunden abgefangen, mit der Pinzette getötet und bis zur Trocknung bei ca. - 12° C in der Tiefkühltruhe aufbewahrt.

Die Baubienen wurden aus der Bautraube eines mittelstarken Volkes im Mai entnommen. Um hier die Fettbestandteile des eventuell im Darm befindlichen Pollens auszuschalten, präparierte ich den Darm heraus und fror die Bienen sofort ein. Von einem Abtöten oder Betäuben der Gesamtzahl der Bienen vor Beginn der Präparation wurde abgesehen, da bei der großen Menge der Tiere die Präparation einige Zeit in Anspruch nahm und währenddessen eine Veränderung der Fettsubstanz in irgendeiner Weise hätte erfolgen können.

Die im August aus dem Honigraum des Bienenstockes entnommenen Bienen waren zum größten Teil Flugbienen. Sie wurden mit dem Pinsel von anhaftendem Pollen und von den "Höschchen" befreit. Bei diesen und ebenso bei den Winterbienen, die im Januar aus dem Stock genommen wurden, wurde der Darm herauspräpariert. Zur Untersuchung gelangten jeweils ca. 1000 Bienen.

Die aus Puppen frischgeschlüpften Imagines von *Calliphora erythrocephala* Meig. wurden morgens abgesammelt, getötet und ebenfalls bis zur weiteren Verarbeitung (Trocknung) bei ca. - 12° C

aufbewahrt. Sie waren nie älter als 12 Stunden und blieben ohne Futter. Ihr Darm wurde nicht herauspräpariert. Zur Verwendung kamen ca. 2000 Tiere.

Auch die frischgeschlüpften Imagines von *Tenebrio molitor* L. wurden so behandelt. Es wurden ca. 500 Tiere verarbeitet.

Die 75 erwachsenen *Schistocerca gregaria* Forsk. waren mit Gras gefüttert worden. Sie waren nicht älter als 1 - 1 1/2 Tage nach der letzten Häutung. Auch bei ihnen wurde der Darm herauspräpariert.

Das Material wurde nach kurzer Vortrocknung dann im Mörser zerstampft und zerrieben, so daß ein Pulver entstand, aus dem das im Gewebe enthaltene Wasser bei der Trocknung quantitativ entfernt werden konnte, und das bei der Extraktion eine genügende Oberfläche hatte und so ein quantitatives Herauslösen des Körperfettes gestattete.

Die Trocknung erfolgte an der Vakuumpumpe bei ca. $5 \cdot 10^{-2}$ Torr. Das Trockenmaterial wurde kurz vor der Extraktion nochmals fein gepulvert und sein Gewicht bestimmt. Aus dem Trockenpulver wurden dann die Körperfette und Lipide in einem Soxhlet-Apparat extrahiert. Dies erfolgte nur mit wasserfreiem, peroxydfreiem und frischdestilliertem Äther und ebensolchem Chloroform. Ebenso mußte das Material absolut trocken sein, da sonst erhebliche Mengen an Zucker und Protein mitextrahiert werden und so störenderweise in den Extrakt gelangt wären. Erst bei 8 - 10 stündiger Extraktion mit Äther und Chloroform kann die Ausbeute als quantitativ betrachtet werden.

Aus dem mit möglichst wenig Äther aufgenommenen Extraktionsgut ("Gesamtlipidextrakt") wurden die Wachse und Lipide nach der Methode von BLOOR und SNIDER (1930) abgetrennt, wobei der Hauptteil der Lipide und Wachse durch Aceton und die letzten Spuren noch mit einer gesättigten alkoholischen Lösung von Calciumchlorid ausgefällt werden. Nach Abtrennung der Lipide wurde das Fett wieder in ätherische Lösung gebracht. Der methodische Fehler bei der Bestimmung von Lipid- und Fettanteil am Gesamtlipidextrakt wurde aus 7 Doppelbestimmungen (nach WEBER E. 1957,

S. 67) zu unter 1 % errechnet.

Aus dem Lipoidanteil der Gesamtlipide wurde der Phosphatgehalt spektralphotometrisch nach der Methode von FISKE und SUBBAROW (1925) in der Modifikation von LOHMANN und JENDRASSIK (1927) bestimmt, und zwar in zwei Doppelbestimmungen aus zwei getrennten Einwaagen. Aus diesem Phosphatanteil kann durch Multiplikation mit dem Faktor 23.57 (KAUCHER et al. 1943) der Phosphatidanteil (als Lecithin) berechnet werden. Der mittlere Fehler dieser Methode berechnete sich mit ca. 2 %.

Von dem Fett wurden dann folgende Kennzahlen bestimmt:

a) Die Bestimmung der Jodzahl JZ wurde nach dem Halbmikroverfahren von ROSENMUND und KUHNHENN (1923) mit Pyridinsulfatdibromid und Natriumarsenit durchgeführt. Die Berechnung der Jodzahl erfolgte nach der Formel

$$JZ = \frac{(b - a) \cdot 1.269}{E}$$

wobei E = Fetteinwaage in g

b = verbrauchte ml Natriumarsenitlösung beim Blindversuch

a = verbrauchte ml Natriumarsenitlösung bei der Probe war.

Der mittlere Fehler dieser Bestimmung lag unter 2 %.

b) Die Mikrobestimmung der Säurezahl SZ nach dem Verfahren von GROSSFELD (1931) mit 0.02 n alkoholischer Kalilauge und Alkaliblaufarbstoff als Indikator hatte einen mittleren Fehler von unter 1 %. Bei der Berechnung der Säurezahl nach

$$SZ = \frac{(a - b) \cdot 1.122}{E}$$

ist E = Fetteinwaage in g

a = verbrauchte ml KOH bei der Probe

b = verbrauchte ml KOH bei der Blindwertbestimmung.

c) Die Verseifungszahl VZ nach der Mikromethode von GORBACH (1944) hatte einen berechneten mittleren Fehler von ca. 3 %. Berechnet wurde die Verseifungszahl nach

$$VZ = \frac{(a - b) \cdot 5.6104}{E} ,$$

wobei E = Fetteinwaage in g

a = verbrauchte ml 0.1 n HCl bei der Probe

b = verbrauchte ml 0.1 n HCl beim Blindversuch war.

d) Die Esterzahl EZ wurde rechnerisch aus der Verseifungszahl VZ und der Säurezahl SZ gewonnen nach

$$EZ = VZ - SZ.$$

Zur Überprüfung der Reinheit des Fettes wurde das Unverseifbare UV in Anlehnung an die Methode von GORBACH (1944) mit Petroläther : Äther (1 : 1, v : v) bestimmt. Seine Menge blieb in allen untersuchten Fällen um 1 % der Fetteinwaage.

Die Verseifung wurde nach allgemeinen Vorschriften (HOPPE-SEYLER/THIERFELDER 1955, HENRIQUES 1895 und 1897) durchgeführt. Die mit 2 n Schwefelsäure aus der alkoholischen Seifenlösung freigesetzten Fettsäuren wurden mit Petroläther : Äther (1 : 1, v : v) isoliert und anschließend sofort mit Hilfe der Tiefkühlkristallisation unter Verwendung der Harnstoffeinschlußverbindungen nach der Methode von LEUPOLD und EBERHAGEN (1958) in ihre gesättigten und ungesättigten Anteile getrennt. Der dabei auftretende mittlere Fehler errechnete sich nach WEBER (1957, S. 67) mit 2 %.

Die Ungesättigten-Fraktion wurde nach der Methode von ADAMS (1922) hydriert, wobei PtO_2 als Katalysator zur Verwendung kam. Da die bei der Tiefkühlkristallisation gewonnene Gesättigten-Fraktion noch geringe Teile ungesättigter Fettsäuren (vor allem Ölsäure) enthielt, die bei der anschließenden säulenchromatographischen Analyse stören würden, wurde auch die Gesättigten-Fraktion hydriert.

Die hydrierten kristallisierten Fettsäuren der Gesättigten- und der Ungesättigten-Fraktion wurden je in einem Meßkolben eingewogen und in einem für die Säulenchromatographie bestimmten Elutionsmittel (Aceton-Wassergemisch verschiedener Konzentrationen) gelöst. Die Methode der quantitativen säulenchromatographischen Trennung des Fettsäuregemisches stammt von KAPITAL (1956). Sie wies bei meiner Durchführung z.B. für die Stearinsäure einen mittleren Fehler von unter 2 % auf. Für die Durch-

führung der Säulenchromatographie nach KAPITEL (1956) stand mir ein Firmendruck der Fa. Henkel & Cie., Düsseldorf zur Verfügung.

Als Beispiel für die chromatographische Analyse seien die Ergebnisse für ein Gemisch an Testfettsäuren folgender Zusammensetzung wiedergegeben:

C ₁₄ - Säure	10 mg
C ₁₆ - Säure	15 mg
C ₁₈ - Säure	25 mg
C ₂₀ - Säure	5 mg
C ₂₂ - Säure	5 mg

Diese 60 mg wurden in einem 100 ml Meßkolben in 63 %igem Acetonwassergemisch gelöst und davon 5 ml (entsprechend 3.0 mg Fettsäuregemisch) auf die Säule gegeben. Eluiert wurde mit Lösungsmitteln, die 56 %, 63 %, 70 %, 75 %, 80 % und 85 % Aceton enthielten und mit Paraffinöl gesättigt waren (im folgenden mit L₅₆, L₆₃ u.s.f. bezeichnet). Dabei wird mit ein und demselben Lösungsmittel immer nur eine Fettsäure mit einer bestimmten Kettenlänge eluiert. Und zwar gilt ganz allgemein:

L₅₆ eluiert Fettsäuren mit einer Kettenlänge von 12 C - Atomen

L₆₃ eluiert solche mit 14 C - Atomen

L₇₀ eluiert solche mit 16 C - Atomen

L₇₅ eluiert solche mit 18 C - Atomen

L₈₀ eluiert solche mit 20 C - Atomen und

L₈₅ eluiert solche mit 22 C - Atomen.

Der bei der Titration auftretende Natronlaugeverbrauch (ml 0.01 n Lauge) für die die Fettsäuren enthaltenden Lösungsmittel wurde graphisch gegen die Menge Eluat (in ml) aufgetragen, wobei sich für jede Fettsäure ein Maximum ergibt. Die Berechnung erfolgte dann aus der Summe der ml 0.01 n NaOH für die Anzahl Abhebungen, über die sich ein Maximum erstreckte, und dem Molekulargewicht der betreffenden eluierten Fettsäure, unter Abzug des Blindwertes für jede Abhebung. Dabei wurden von den 3.0 mg Gemisch wiedergefunden (vergl. Abb. 1):

C ₁₄	= 0.5016 mg = 100.32 % der Theorie
C ₁₆	= 0.7552 mg = 100.69 % der Theorie
C ₁₈	= 1.2496 mg = 99.97 % der Theorie
C ₂₀	= 0.2496 mg = 99.84 % der Theorie
C ₂₂	= 0.2464 mg = 98.56 % der Theorie
	<u>3.0024 mg = 100.08 % der Theorie</u>
	=====

Um die einzelnen eluierten Fettsäuren zu identifizieren wurden sie bei den ersten Untersuchungen des Tiermaterials fraktioniert aufgefangen und nochmals papierchromatographisch nach der Methode von DAECKE (1953/54) gegen Testsubstanzen an Hand ihrer R_f - Werte überprüft (vergl. Abb. 2). Dabei wurde erkannt, daß von einem bestimmten Elutionsmittel nur eine bestimmte Fettsäure eluiert wird.

C. Ergebnisse der Untersuchungen.

1. Analysen des Körperfettes von Bienen:

Das bei der Extraktion erhaltene Mischfett liegt größtenteils in den Fettkörpern der Insekten als Depotfett vor. Die Untersuchungen lassen also einen Vergleich des Fettes von Insekten untereinander zu.

Durch die Darmpräparation wurden keine dieser Fettdepots verletzt, da sich der Darm sehr leicht aus dem Abdomen herausziehen ließ und keine Gewebsteile mitriß. Das in der Darmwand eventuell befindliche Fett wurde damit allerdings entfernt.

Als Beispiel für die praktische Durchführung der Analysen sei eingangs ein verkürztes Protokoll wiedergegeben, und zwar für die Untersuchungen an frischgeschlüpften Bienen:

Das Trockengewicht des Materials vor der Extraktion war 22.5410 g, nach der Extraktion 20.4330 g. Die Auswaage des Gesamtlipidex-

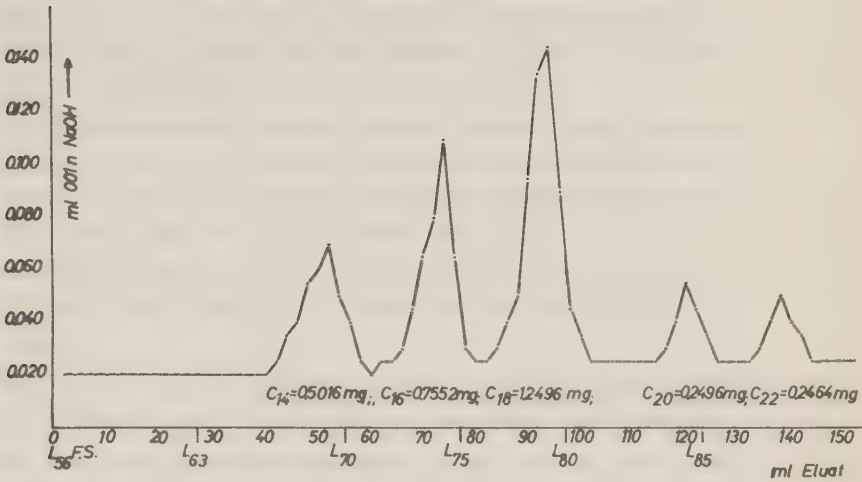


Abb.1. Kurve zur chromatographischen Trennung eines 5-Stoff-Test-Gemisches.

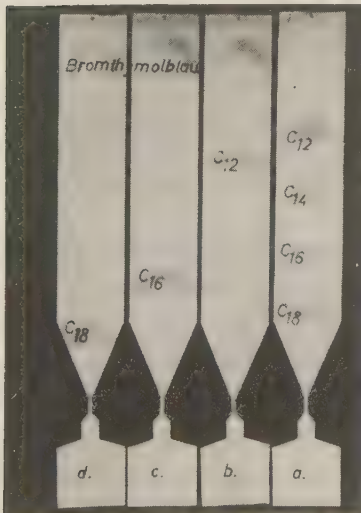


Abb.2.

Papierchromatographische Trennung von Fettsäuren aus den Eluaten der Säulenchromatographie:

a) Testfettsäuren C_{18} , C_{16} , C_{14} und C_{12} ; b - d) Fettsäuren aus einer Fettsäureanalyse von *Apis mellifica* L., und zwar C_{12} , C_{16} und C_{18} .

traktes betrug 2.1084 g, das sind 9.36 % vom Gesamttrockengewicht. Die Lipoidanteile am Gesamtlipidextrakt ergaben in einer Doppelbestimmung für die Lipide 47.57 und 47.95 % und für das Fett entsprechend 52.43 und 52.05 %.

Der Phosphatidanteil an den Lipoiden wurde aus zwei getrennten Einwaagen von 0.2364 und 0.2502 g in Doppelbestimmungen ermittelt. Diese ergaben 67.69 und 67.77 % bzw. 62.80 und 67.09 %, was einem Mittel von 66.34 % entspricht.

Die Jodzahl wurde ebenfalls in zwei Parallelbestimmungen mit 0.00044 g und 0.0044 g Fetteinwaage zu 80.76 und 83.64 bestimmt.

Aus zwei Parallelbestimmungen für die Säurezahl wurde bei einer Fetteinwaage von jeweils 0.00044 g beide Male 89.25 erhalten.

Die Bestimmung der Verseifungszahl ergab bei je 0.00176 g Fetteinwaage einmal 184.69 und das andere Mal 191.26. Damit ergibt sich die errechnete Esterzahl von 98.8 .

Die mittleren Molekulargewichte der Triglyceride (M_T) und der Fettsäuren (M_S) errechnen sich dann mit

$$M_T = \frac{3 \cdot 56 \cdot 104}{VZ} = 894.95 ;$$

$$M_S = \frac{M_T - 38.01}{3} = 285.65 .$$

Der Anteil der freien, ungebundenen Fettsäuren berechnet sich nach

$$\% \text{ fr. ungeb. F.S.} = \frac{a \cdot 0. M_S \cdot 100}{E} = 45.44 \%,$$

wobei a = die verbrauchten ml alkoholische KOH, berechnet als
1 n alkoholische KOH bei der Säurezahlbestimmung
E = Fetteinwaage in g bei der Säurezahlbestimmung ist.

Von den zur Verseifung eingewogenen 0.2520 g Fett wurden 0.0018 g als Unverseifbares ausgeschüttelt. Dies entspricht 0.71 %.

Die Tiefkühlkristallisation zur Trennung der gesättigten von den ungesättigten Fettsäuren ergab bei einer Einwaage von ca. 150 mg

für die Gesättigten-Fraktion 85.35 % und für die Ungesättigten-Fraktion 14.65 %. Beide Fraktionen wurden hydriert unter Verwendung von 0.050 g PtO_2 als Katalysator und zur Säulenchromatographie in L_{56} gelöst. Aus der säulenchromatographischen Analyse wurden erhalten:

Gesättigte:	C_{12}	0.0200 mg =	0.941 %
	C_{16}	0.3584 mg =	16.865 %
	C_{18}	1.7466 mg =	82.192 % der Gesamtmenge
Ungesättigte:	C_{12}	0.1700 mg =	13.765 %
	C_{18}	1.0650 mg =	86.234 % der Gesamtmenge

In Tab.5 sind die Ergebnisse für die quantitative, säulenchromatographische Säure - Fraktionierung zusammengefaßt. Die Titrationskurven, die bei dieser Absorptionschromatographie erhalten wurden, sind in Abb.3 wiedergegeben, und zwar für die Untersuchungen an frischgeschlüpften Bienen (die hier als charakteristisch angenommen werden). Die graphische Darstellung der erhaltenen Ergebnisse in Abb.4 veranschaulicht die prozentuale Anteiligkeit der einzelnen Fettsäuren an den Gesamtfettsäuren.

Die Blindwerte für die einzelnen Lösungsmittel bei der Säulenchromatographie betrugen jeweils für 2 ml (= eine Abheberung)

L_{56} mit L_{63}	0.020 ml 0.01 n NaOH
L_{70} mit L_{85}	0.025 ml 0.01 n NaOH .

Die aus dem Natronlauge-Verbrauch der Titration errechneten Mengen der einzelnen Säuren wurden zu 100 % summiert und daraus ihr prozentualer Anteil an dem Fettsäure-Gemisch bestimmt. Daher stehen diese Prozentanteile in Tab.5 als direkt bestimmte Werte am Anfang. Sie wurden dann auf die entsprechende Menge der betreffenden Fraktion an den Gesamtfettsäuren umgerechnet.

Das aus den prozentualen Mengen der erhaltenen Säuren errechenbare mittlere Molekulargewicht der Gesamtfettsäuren ergibt sich mit 277.6 , was gut mit dem aus der Verseifungszahl gewonnenen "theoretischen" Wert übereinstimmt (285.7).

Die fraktioniert aufgefangenen Fettsäuren aus der Säulenchromatographie wurden durch Ansäuern und Ausschütteln mit Äther zurück-

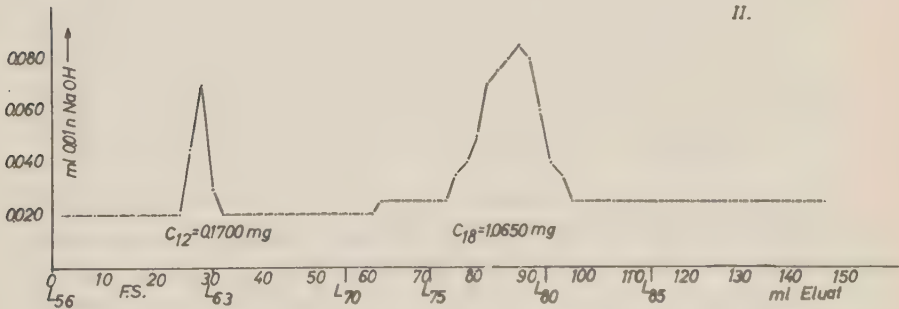
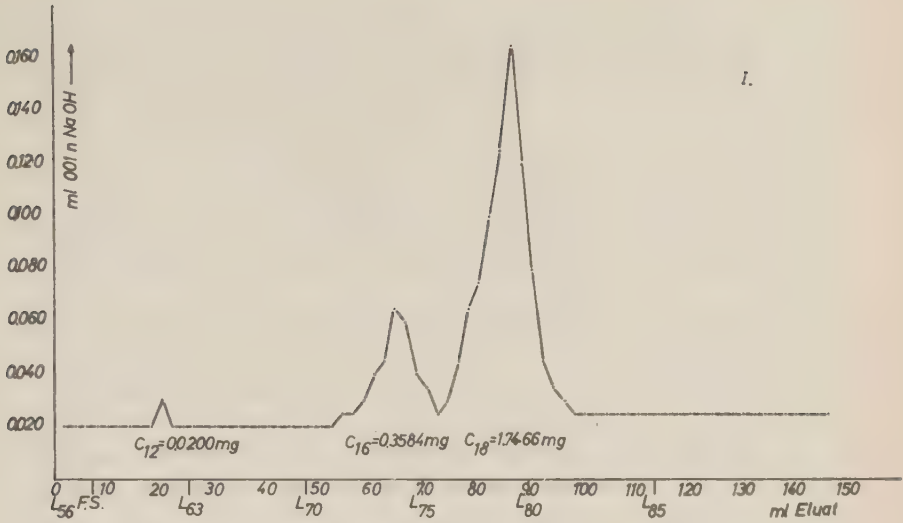
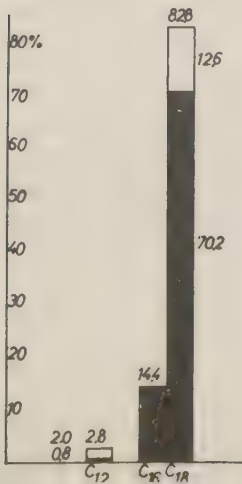


Abb.3.

Titrationsskurven für die Chromatographie der I. gesättigten und II. der ungesättigten Fettsäuren von frischgeschlüpfen Bienen.

Abb.4.

Graphische Darstellung der Fettsäure-Zusammensetzung im Fett von frischgeschlüpfen Bienen.



■ = gesättigte F.S.

□ = ungesättigte F.S.

gewonnen und papierchromatographisch qualitativ identifiziert, wie es in Abb.2 wiedergegeben ist. Die Banden an der Lösungsmittelfront stammen von dem Indikator Bromthymolblau aus dem Elutionsmittel der Säulenchromatographie.

Die bei diesen Untersuchungen erhaltenen Werte wurden auf verschiedene Bezugsgrößen umgerechnet, um bessere Vergleichsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Analysen zu erreichen. Alle Analysen wurden unter genau gleichen Bedingungen durchgeführt.

Die Tab.1 gibt die zusammengefaßten Ergebnisse für die Lipid-Fractionen bei den vier Analysen des Fettes von Bienen in verschiedenen physiologischen Zuständen wieder. Die Auswaage des Gesamtlipidextraktes wurde überprüft durch Auswägen der Trockensubstanz vor und nach der Extraktion, was eine gute Übereinstimmung erbrachte. Dabei lag der Fehler immer unter 1 %.

Die erhaltenen Ätherextrakte der Bienen waren intensiv gelb gefärbt und in konzentrierter Lösung trübe, wahrscheinlich herrührend von Teilen schwerer löslicher Phosphatide und anderen Lipiden. Mit dem Chloroformextrakt wurde dann eine tief braune bis rotbraune jedoch fast klare Lösung erhalten, die die letzten Reste von Fett und vor allem Wachse enthielt, deren Farbe (vereint mit der der Carotinoide) für den Gesamtextrakt bestimmend war.

Der Gesamtextrakt aus dem Trockenmaterial der Bienen war intensiv dunkelbraun, bei Zimmertemperatur salben- bis schmalzartig, hochviskos und von eigenartigem Geruch. Nach dem Abtrennen der Lipide und Wachse wurden ein klares, öliges, gelb gefärbtes Fett und die fast festen und durch den hohen Wachsanteil dunkelbraun gefärbten Lipide erhalten.

Die in Doppelbestimmungen gravimetrisch ermittelten Fett- und Lipoid-Fractionen wurden ebenso wie der aus der Lipoid-Fraktion in Doppelbestimmungen aus zwei getrennten Einwaagen ermittelte Phosphatidanteil (als Lecithin) auf den Gesamtlipidextrakt bzw. auf das Trockengewicht der Bienen bezogen.

Tab.1. Anteile der Lipoid-Fractionen und Phosphatidgehalt der Lipide bei frischgeschlüpften Bienen, Bau-, Flug- und Winterbienen.

	frischg. Bienen	Bau- bienen	Flug- bienen	Winter- bienen
I. Mittelwerte in mg/g Trockengewicht:				
Gesamtlipide.....	93.6	101.5	95.0	73.0
Fett.....	48.9	35.8	47.9	24.3
Lipide	44.7	65.7	47.1	48.7
davon:Phosphatide	29.7	32.0	26.6	32.4
II. Mittelwerte in % vom Gesamtlipidextrakt:				
Fett.....	52.2	35.3	50.4	33.3
Lipide.....	47.8	64.7	49.6	66.7
davon:Phosphatide	31.7	31.6	28.0	43.2
III. Phosphatide, Wachse und andere Lipide in % der Lipoid-Fraktion:				
Phosphatide....	66.3	48.7	56.5	64.9
Wachse usw.....	33.7	51.3	43.5	35.1
IV. Verh. <u>Phosphatide</u> <u>Wachse etc.</u>				
	1:0.51	1:1.05	1:0.77	1:0.54

Durch die aus Tab.1 ersichtlichen Bezugsgrößen werden die verschiedenen Anteile der einzelnen Fraktionen deutlich hervorgehoben. Der Gesamtlipidgehalt ist annähernd konstant; nur die Winterbienen zeigen einen deutlichen Abfall im Gesamtlipid. Ebenso bleibt der Lipoidanteil konstant. Eine Ausnahme zeigen die Baubienen, bei denen der höhere Wert auf den erhöhten Wachsanteil im Gesamtlipidextrakt zurückzuführen ist, wie es auch aus dem Verhältnis bei IV hervorgeht, das sonst als konstant angesehen werden kann. Der Phosphatidgehalt kann ebenso als gleichbleibend betrachtet werden. Bemerkenswert ist noch der schwankende Fettgehalt in dem verschiedenen physiologischen Zustand und Alter der Bienen.

Die weiteren analytischen Untersuchungen beschränkten sich im folgenden auf die Fett-Fraktion. Da für die Charakterisierung eines Fettes dessen Kennzahlen gute Aufschlüsse über seine Zusammensetzung geben können, wurden einige wichtige herausgegriffen und mittels

Mikromethoden bestimmt, wie z.B. die Jodzahl JZ, die Rückschlüsse auf die Ungesättigtheit eines Fettes erlaubt. Die Ergebnisse für die verschiedenen Bienen sind in Tab.2 zusammengestellt. Wie ein Vergleich der in Tab.2 wiedergegebenen Werte mit Tab.4 zeigt, ändert sich die Jodzahl gleichsinnig mit der Menge der ungesättigten Fettsäuren. Sie entspricht also dem Gehalt an Doppelbindung in den Fettsäuren, wobei besonders die Winterbienen auffallen. Entsprechend der Ernährung und dem physiologischen Zustand der Bienen ändert sich auch die Säurezahl, während die Verseifungszahl konstant bleibt. Damit erklärt sich auch die auf Grund ihrer numerischen Abhängigkeit von der Verseifungszahl und Säurezahl errechenbare Esterzahl, deren Extreme umgekehrt denen der Säurezahl entsprechen.

Tab.2. Kennzahlen des Fettes von frischgeschlüpften Bienen, Bau-, Flug- und Winterbienen. Mittelwerte aus jeweils mehreren Einzelbestimmungen.

	frischg. Bienen	Bau- bienen	Flug- bienen	Winter- bienen
Jodzahl JZ.....	82.2	87.6	93.2	55.0
Säurezahl SZ.....	89.3	99.3	91.5	63.9
Verseifungszahl VZ	188	187	188	185
Esterzahl EZ.....	98.8	87.7	96.0	120.9

Mit Hilfe der aus Tab.2 zu entnehmenden Werte für die Säurezahl und Verseifungszahl lassen sich durch einfache Umrechnungen weitere Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Fettes machen und zwar hinsichtlich seines prozentualen Gehaltes an freien, ungebundenen Fettsäuren und hinsichtlich des mittleren Molekulargewichtes der Glyceride. Hierbei wurde angenommen, daß Triglyceride vorliegen; danach wurde das Molekulargewicht der Fettsäuren berechnet und dieses bei der Berechnung des Prozentgehaltes der freien Fettsäuren eingesetzt. Das mittlere Fettsäure-Molekulargewicht läßt sich auch aus den experimentell gewonnenen prozentualen Anteilen der Säuren, die bei der quantitativen Analyse mit Hilfe der Säulenchromatographie erhalten werden, berechnen und ist in Tab.3 den "theoretischen" Werten gegenübergestellt. Die mittlere Abweichung zwischen den experimentell gewonnenen mittleren Molekulargewichten und den

theoretischen Werten hierfür wurde mit 4 % errechnet. Dieser Fehler ist darauf zurückzuführen, daß die Berechnung unter der Annahme von ausschließlich Triglyceriden durchgeführt wurde und ein wahrscheinlicher Gehalt von Di- und Monoglyceriden unberücksichtigt blieb. Außerdem sollte diese Berechnung nur einen ungefähren Hinweis für die zu erwartenden Säuren bei der Säulenchromatographie ergeben und eine eventuelle Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse erbringen, was durch die relativ gute Übereinstimmung der experimentellen Werte mit den theoretischen möglich war.

Tab.3. Prozentgehalt der freien, ungebundenen Fettsäuren im Fett, auf verschiedene Bezugsgrößen umgerechnet; sowie rechnerisch gewonnene Daten zur Fettanalyse.

	frischg. Bienen	Bau- bienen	Flug- bienen	Winter- bienen
I. Anteil der freien, ungebundenen Fettsäuren				
in % vom Trockengewicht	2.2	1.8	2.2	0.8
in % vom Gesamtlipid	23.7	17.9	23.5	11.0
in % der Fettfraktion	45.4	50.6	46.7	33.0
II. Mittlere Molekulargewichte				
der Triglyceride	895	900	898	911
der Fettsäuren(theoret.)	286	287	287	291
der Fettsäuren(experim.)	278	265	274	272

Für die Aufarbeitung der Fettsäuren aus dem Fett zur Chromatographie wurde ein aliquoter Teil verseift und aus der Seifenlösung das Unverseifbare mit Petroläther-Äther-Gemisch ausgeschüttelt und gravimetrisch bestimmt. Das Unverseifbare gibt den Reinheitsgrad eines Fettes an und betrug in den vorliegenden Untersuchungen zwischen 0.2 und 0.7 % der Fetteinwaage.

Die isolierten freien Fettsäuren waren leicht gelblich gefärbt und bei Zimmertemperatur von öligem Charakter, was auf das Vorhandensein der ungesättigten Fettsäuren, besonders Ölsäure, zurückzuführen ist. Die Ergebnisse der Trennung in Gesättigten- und Ungesättigten-Fraktion sind in Tab.4 zusammengestellt.

Tab.4. Anteile der gesättigten und ungesättigten Fettsäuren im Fett von frischgeschlüpften Bienen, Bau-, Flug- und Winterbienen.

	frischg. Bienen	Bau- bienen	Flug- bienen	Winter- bienen
I. Fettsäure-Fractionen in mg/g Trockengewicht:				
Gesättigte F.S.....	39.5	26.0	21.8	19.5
Ungesättigte F.S.....	6.7	8.0	23.5	3.2
II. Fettsäure-Fractionen bezogen auf die Gesamtfettsäuren in %:				
Gesättigte F.S.....	85.4	76.5	48.1	86.0
Ungesättigte F.S.....	14.6	23.5	51.9	14.0

Aus der Tab.4.I ist in der Gesättigten-Fraktion klar eine fallende Tendenz mit dem Alter der Bienen ersichtlich, während die Ungesättigten-Fraktion in der gleichen Richtung ein Maximum bei den Flugbienen durchschreitet, was auch aus II. hervorgeht.

Die Menge der Gesamtfettsäuren im Fett wurde errechnet aus dem Gehalt an freien, ungebundenen Fettsäuren und den in den Glyceriden enthaltenen Fettsäuren. Hierbei wurde das in den Triglyceriden enthaltene Glycerin berücksichtigt. Dieses wurde nach KAUFMANN (1958) mit 10 Gewichtsprozenten der Triglyceride angenommen.

Die nach der Hydrierung gewonnenen Fettsäuren waren rein weiß, kristallin und lösten sich bei gelindem Erwärmen im Anfangslösungsmittel L₅₆ der Säulenchromatographie.

Die Fettsäure-Chromatographie erbrachte bei den Bienen in den vier verschiedenen Altersstufen und Entwicklungsstadien keine qualitativen Unterschiede. In der Gesättigten-Fraktion wurde nach der Hydrierung gefunden:

C₁₂ Laurinsäure
C₁₆ Palmitinsäure
C₁₈ Stearinsäure

Ebenso wurden in allen vier Untersuchungen der Ungesättigten-Fraktion nach der Hydrierung nur C₁₂ und C₁₀ gefunden, die jeweils als Laurin- und als Stearinsäure berechnet wurden.

Die quantitative Betrachtung der Tab.7 ergibt, daß die C₁₀-Säure

(hier immer als Stearinsäure angegeben) immer den Hauptanteil im Fett ausmacht, wie es auch bei anderen Fetten ganz allgemein bekannt ist.

Tab.5. Quantitative Fettsäurezusammensetzung des Fettes von frischgeschlüpften Bienen, Bau-, Flug- und Winterbienen. Mittelwerte aus zwei bis drei Einzelbestimmungen auf verschiedene Bezugsgrößen berechnet.

	frischg. Bienen	Bau- bienen	Flug- bienen	Winter- bienen
--	--------------------	----------------	-----------------	-------------------

I. Mittelwerte aus mehreren Einzelbestimmungen in % der Fettsäure-Fraktion:

Gesättigte:				
C ₁₂	0.94	2.63	1.63	2.43
C ₁₆	16.9	4.50	12.6	6.89
C ₁₈	82.2	92.9	85.7	90.7
Ungesättigte:				
C ₁₂	13.8	84.0	16.7	76.4
C ₁₈	86.2	16.0	83.3	23.6

II. Fettsäureanteile in % der Gesamtfettsäuren:

Gesättigte:.....	85.4	76.5	48.1	86.0
C ₁₂	0.80	2.01	0.78	2.09
C ₁₆	14.4	3.44	6.08	5.93
C ₁₈	70.2	71.0	41.2	78.0
Ungesättigte:....	14.6	23.5	51.9	14.0
C ₁₂	2.01	19.7	8.69	10.7
C ₁₈	12.6	3.77	43.2	3.30

III. Säuren gleicher Kettenlänge in % der Gesamtfettsäuren:

C ₁₂	2.82	21.7	9.48	12.8
C ₁₆	14.4	3.44	6.08	5.93
C ₁₈	82.8	74.8	84.5	81.3

Fortsetzung von Tab.5.

	frischg. Bienen	Bau- bienen	Flug- bienen	Winter- bienen
--	--------------------	----------------	-----------------	-------------------

IV. Fettsäuren in mg/g Trockengewicht:

Gesättigte:.....	39.5	26.0	21.8	19.5
C ₁₂	0.37	0.69	0.35	0.47
C ₁₆	6.65	1.17	2.75	1.35
C ₁₈	32.4	24.2	18.7	17.7
Ungesättigte:.....	6.74	8.0	23.5	3.19
C ₁₂	0.93	6.69	3.94	2.43
C ₁₈	5.82	1.28	19.6	0.76

V. Fettsäuren gleicher Kettenlänge in mg/g Trockengewicht:

C ₁₂	1.30	7.38	4.29	2.90
C ₁₆	6.65	1.17	2.75	1.35
C ₁₈	38.2	25.4	38.3	18.5
Gesamt-F.S.....	46.2	34.0	45.3	22.7

In der Gesättigten-Fraktion ist die quantitative Mengenanordnung immer von gleichbleibender Folge, wobei C₁₂ stets den geringsten Anteil, C₁₈ den größten Anteil stellt.

Die C₁₂-Säure hat mengenmäßig bei den Baubienen ein Maximum, was sowohl in der Gesättigten-Fraktion als auch noch deutlicher in der Ungesättigten-Fraktion hervortritt. An dieser Stelle hat jedoch die gesättigte C₁₆-Säure ein Minimum. Bei den Flugbienen im August ist ihre Menge wieder etwas größer und bei den Winterbienen wieder kleiner, wo auch der C₁₂-Anteil in der Gesättigten-Fraktion wieder ansteigt. Bei der gesättigten C₁₈-Säure hingegen ist klar ein Abfall der Menge mit steigendem Alter der Bienen feststellbar.

Bei der ungesättigten C₁₈-Säure findet man keine charakteristische Tendenz, betrachtet man nur die altersmäßigen Unterschiede. Man könnte deshalb vor allem auch die physiologischen Zustände der Tiere und ihre Ernährungsbedingungen mit berücksichtigen. Vielleicht hat die natürliche Ernährung (Pollen) der Bienen im Sommer Einfluß auf die Fettsäurezusammensetzung, was in der relativ großen

Menge bei den Flugbienen zum Ausdruck kommt, ~~em~~ das Minimum der Winterbienen im Januar, wo nur Zuckerfütterung vorliegt, gegenübersteht. Der relativ niedrige Wert von 1.28 mg/g Trockengewicht bei der ungesättigten C_{18} -Säure der Baubienen könnte im Zusammenhang mit dem physiologischen Zustand und der Tätigkeit der Bienen gebracht werden; ebenso der Wert für die ungesättigte C_{16} -Säure.

Diese Verschiebungen und Änderungen im Mengenverhältnis der Säuren untereinander sind in V. der Tab.5 zusammengefaßt.

Die Teile I. - III. der Tab.5 gestatten nur wenig Einblick auf die obengenannten Zusammenhänge. Jedoch bieten sie einen guten Überblick hinsichtlich verschiedener Bezugsgrößen und im Vergleich mit prozentualen Angaben aus später zu besprechender Literatur.

2. Analysen des Körperfettes einiger anderer Insekten:

Um einen weiteren Überblick über die Fettzusammensetzung bei Insekten zu erlangen, wurden den Bienen als vornehmlichen Kohlenhydratfressern Insekten mit anderer Ernährung gegenübergestellt.

Als solches Beispiel wurde *Calliphora erythrocephala* Meig. herangezogen, deren Larven reine Eiweißfresser sind und deren Imagines gemischte Kost fressen. Die Maden von *Calliphora* waren bis zur Verpuppung mit rohem Fleisch gezüchtet worden. Da die Zusammensetzung des körpereigenen Fettes ganz allgemein mit dem mit der Nahrung aufgenommenen Fett korrespondiert, konnte erwartet werden, daß die aus den Puppen schlüpfenden Imagines eine Fettzusammensetzung aufweisen würden, die bei Annäherung an die Ernährung der Larven anders zusammengesetzt sein würde als die der Bienen. Aus diesem Grunde und für einen besseren Vergleich mit den frischgeschlüpfte Bienen wurden hier ebenfalls frischgeschlüpfte *Calliphora*-Imagines untersucht.

Weiterhin wurde ein Vertreter mit ausschließlicher Trockenkost, *Tenebrio molitor* L., gewählt. Bei *Tenebrio* dürften die eventuell auftretenden Unterschiede hinsichtlich der Körperfett-Zusammensetzung bei Maden und Imagines noch geringer sein, da sowohl Made wie Imago gleiche Ernährung haben. Jedoch wurden aus Gründen der

Vergleichbarkeit ebenfalls frischgeschlüpfte Tiere verwendet.

Solche Bedenken konnten bei der letzten untersuchten Art, der hemimetabolen Heuschrecke *Schistocerca gregaria* Forsk., unberücksichtigt bleiben. Bei diesem typischen Grasfresser bleibt die Nahrung das ganze Leben hindurch gleich und das Fett der Imago kann als typisch angesehen werden.

Die Aufarbeitung war genau dieselbe wie bei den Bienen, so daß die erhaltenen Ergebnisse mit denen der Bienen verglichen werden können.

Die Fettextrakte von *Calliphora*, *Tenebrio* und *Schistocerca* zeigten andere Eigenschaften als die der Bienen. Der Ätherextrakt von *Calliphora* war klar, von leicht gelblich-grüner Farbe und eigenartig fauligem Geruch. Als Chloroformextrakt wurde dann eine leicht trübe, hell gelblich-grüne Flüssigkeit von demselben Geruch erhalten, dessen Eigenschaften auch die des Gesamtlipidextraktes bestimmten. Das Gesamtlipid war bei Zimmertemperatur dickflüssig und undurchsichtig, jedoch homogen. - Bei *Tenebrio* war der Ätherextrakt in Geruch, Farbe und Konsistenz gleich dem Chloroformextrakt, so daß als Gesamtlipid eine dickflüssig, ölige, gelbliche bis hellbraune und matt durchsichtige Masse von eigenartigem Geruch erhalten wurde. - *Schistocerca* lieferte einen intensiv tiefgelb bis hellbraunen, dicken Ätherextrakt von stechendem Geruch, der dem ebenso dunklen, öligen und sonst klaren Gesamtlipidextrakt erhalten blieb.

Die aus der Bestimmung des Gesamtlipidgehaltes, der Lipoid-Fractionen und des Phosphatidanteils gewonnenen Ergebnisse sind in Tab.6 zusammengefaßt. Dabei werden wie in den folgenden Tabellen zum besseren Vergleich die Werte für die Untersuchungen an frischgeschlüpfen Bienen nochmals mit aufgeführt.

Der Gesamtlipidgehalt bei den drei untersuchten Arten (Tab.6) liegt höher als bei der Biene. Auch machen die Lipide viel weniger vom Gesamtlipid aus als bei der Biene, wo den größten Anteil wohl das Wachs stellt. Dementsprechend ist der Phosphatidgehalt bei *Calliphora* und *Schistocerca* größer (vergl. Tab.6. IV.). Eine

Ausnahme macht dabei *Tenebrio*, dessen Lipoidextrakt das von SCHULZ und BECKER (1931) beschriebene *Tenebrio*-Glycol enthalten dürfte, einen wachsartigen Stoff, der vor allem auf der Cutis und in den Exkrementen des Mehlwurmes nachgewiesen wurde und auch bei der Imago auftreten dürfte.

Tab.6. Gesamtlipidgehalt, Lipoid-Fractionen und Phosphatidanteil bei frischgeschlüpften *Apis*, *Calliphora*, *Tenebrio* und *Schistocerca*.

	<i>Apis</i>	<i>Calliph.</i>	<i>Tenebrio</i>	<i>Schistoc.</i>
I. Mittelwerte in mg/g Trockengewicht:				
Gesamtlipid.....	93.6	127.2	161.9	186.6
Fett.....	48.9	83.8	129.6	152.2
Lipoide.....	44.7	43.4	32.2	34.3
davon:Phosphatide	29.7	35.5	20.5	29.3

II. Mittelwerte in % vom Gesamtlipidextrakt:

Fett.....	52.2	65.9	80.1	81.6
Lipoide.....	47.8	34.1	19.9	18.4
davon:Phosphatide	31.7	27.9	12.6	15.7

III. Phosphatide und Nicht-Phosphatide in % der Lipoid-Fraktion:

Phosphatide....	66.3	81.7	63.5	85.5
andere Lipoide.	33.7	18.3	36.5	14.5

IV. Verh. $\frac{\text{Phosphatide}}{\text{and. Lipoide}}$	1:0.51	1:0.22	1:0.58	1:0.17
--	--------	--------	--------	--------

Auffallend ist jedoch die größenordnungsmäßige Übereinstimmung der beiden Fett-Verbrenner *Tenebrio* und *Schistocerca* gegenüber *Calliphora*. Dies drückt sich auch weiterhin in einigen Zahlen der folgenden Tabellen aus (vergl. Tab.7. und 8.).

Tab.7. Fett-Kennzahlen von frischgeschlüpften *Apis*, *Calliphora*, *Tenebrio* und *Schistocerca*.

	<i>Apis</i>	<i>Calliph.</i>	<i>Tenebrio</i>	<i>Schistoc.</i>
Jodzahl JZ.....	82.2	79.6	104.2	101.4
Säurezahl SZ.....	89.3	36.8	61.6	17.2
Verseifungszahl VZ	188	171	193	189
Esterzahl EZ.....	98.8	135	132	172

Aus Tab.7 ist die Ähnlichkeit bei der Jodzahl und der Verseifungszahl bei *Tenebrio* und *Schistocerca* bemerkenswert, der auch hier *Calliphora* mit abweichenden Werten gegenübersteht.

Tab.8. Prozentgehalt der freien, ungebundenen Fettsäuren im Fett von frischgeschlüpften *Apis*, *Calliphora*, *Tenebrio* und *Schistocerca*, in verschiedenen Bezugssystemen; sowie rechnerisch gewonnene Daten zur Fettanalyse.

	<i>Apis</i>	<i>Calliph.</i>	<i>Tenebrio</i>	<i>Schistoc.</i>
I. Anteil der freien, ungebundenen Fettsäuren				
in % vom Trockengewicht..	2.2	1.7	4.0	1.3
in % vom Gesamtlipid.....	23.7	13.2	24.4	7.1
in % der Fettfraktion....	45.4	20.0	30.5	8.7
II. Mittlere Molekulargewichte				
der Triglyceride.....	895	981	870	890
der Fettsäuren(theoret.).	286	314	277	284
der Fettsäuren(experim.).	278	273	279	274

Die Prozentgehalte an freien Fettsäuren bei *Tenebrio* ähneln den Werten bei der Biene auffällig. Bemerkenswert ist noch der sehr geringe Prozentsatz bei *Schistocerca*, während der von *Calliphora* etwa zwischen diesen beiden genannten Tieren liegt. Der relativ große Unterschied des theoretisch errechneten und des experimentell erhaltenen Wertes für das mittlere Molekulargewicht der Fettsäuren bei *Calliphora* ist vielleicht auf die ausschließliche Annahme von Triglyceriden bei der Berechnung zurückzuführen. Die relativ niedrige Verseifungszahl spricht für den Gehalt an Fettsäuren größerer Kettenlänge als C_{18} , was experimentell auch tatsächlich in einer C_{20} -Säure gefunden wurde. Dies würde den höheren Wert verständlich machen (vergl. Tab.10)(KAUFMANN 1958). Allerdings wurde diese C_{20} -Säure in zu geringer Konzentration gefunden, als daß sie sich hier ausdrücken würde. Es ist jedoch anzunehmen, daß bei den Glyceriden ein größerer Anteil an Di- oder Monoglyceriden vorhanden ist, durch deren Berücksichtigung der "theoretische" dem experimentell gewonnene Wert für das mittlere Fettsäuremolekulargewicht näherkommen würde (KAUFMANN 1958). Die Übereinstimmung zwischen experimentell

gewonnenen Werten und den theoretischen bei den beiden anderen Arten ist wieder sehr gut.

Das Unverseifbare betrug bei *Calliphora* 0.87 % der Fetteinwaage bei der Verseifung, bei *Tenebrio* ebenso 0.85 % und bei *Schistocerca* 0.74 %. Diese Zahlen erlauben einen Rückschluß auf die vollständige Ausfällung der Lipide aus dem Gesamtlipidextrakt, die damit wohl als quantitativ betrachtet werden kann.

Die reinen Fettsäuren von *Calliphora* waren bei Zimmertemperatur fast fest und von leicht gelblicher Farbe. *Tenebrio* lieferte ölig-flüssige Fettsäuren, während die von *Schistocerca* ölig waren, intensiv gelb und von eigenartigem Geruch.

Die Bestimmung der einzelnen Fettsäure-Fractionen (vergl. hierzu Tab.9) erbrachten wieder auffällige Übereinstimmungen zwischen *Tenebrio* und *Schistocerca*, während *Calliphora* in dieser Hinsicht den frischgeschlüpften Bienen ähnelt.

Tab.9. Anteile der Gesättigten- und Ungesättigten-Fraktion.

	Apis	Calliph.	Tenebrio	Schistoc.
I. Fraktionen der Gesamtfettsäuren in mg/g Trockengewicht:				
Gesättigte F.S....	39.5	66.5	110.7	127.2
Ungesättigte F.S..	6.7	10.6	10.0	11.1
II. Bezogen auf die Gesamtfettsäuren in %:				
Gesättigte F.S....	85.4	86.3	91.7	92.0
Ungesättigte F.S..	14.6	13.7	8.3	8.0

Der Gehalt an Gesamtfettsäuren wurde genau wie bei den Bienen berechnet unter Berücksichtigung der freien, ungebundenen Fettsäuren und den 10 % Glycerin in den angenommenen Triglyceriden (KAUFMANN 1958).

Die hydrierten Fettsäuren aller drei untersuchten Arten waren wieder rein weiß kristallin und lösten sich in der Wärme in L_{56} der Säulenchromatographie; mit Ausnahme der *Calliphora*-Fettsäuren, die in L_{56} nicht vollständig in Lösung gebracht werden konnten. Erst ein Gemisch von gleichen Teilen L_{56} und L_{63} erbrachte in der

Warme eine klare Lösung. Wie später nachgewiesen wurde, ist dies auf die C_{20} -Säure zurückzuführen, die im Calliphora-Fett vorhanden ist (vergl. Tab.10).

Da bei Calliphora bereits qualitative Abweichungen von den anderen untersuchten Arten auftraten, sind die säulenchromatographischen Titrationskurven für das Beispiel Calliphora in Abb.5 und 6 wiedergegeben.

Bei den vier untersuchten Arten ergaben sich bereits qualitative Unterschiede in der allgemeinen Fettsäurezusammensetzung (vergl. Tab.10):

In der Gesättigten-Fraktion wurden bei Calliphora nur C_{16} -(Palmitinsäure) und C_{18} -(Stearinsäure) Säuren gefunden. Eine C_{12} -Säure konnte nicht nachgewiesen werden. In der Ungesättigten-Fraktion dagegen wurden vier Fettsäurekomponenten gefunden: Auffallend ist die C_{14} -Säure (Myristoleinsäure). Sie wurde hier nach der Hydrierung als Myristinsäure berechnet. Weiterhin wurde eine ungesättigte C_{16} -Säure nachgewiesen (Palmitoleinsäure), die hier ebenfalls als Palmitinsäure berechnet wurde. Die gefundenen C_{18} -Säure-Gruppen (hier als Stearinsäure angegeben) dürfte sich aus Ol-, Linol- und Linolensäure zusammensetzen, die bei der Hydrierung in Stearinsäure übergeführt wurden. Als vierte Komponente in der Ungesättigten-Fraktion wurde eine C_{20} -Säure gefunden, die hier als Arachinsäure wiedergegeben ist.

Von besonderer Wichtigkeit erscheint die C_{14} -Säure, die meines Wissens bisher nur einmal in der Literatur angegeben wurde (COLLIN 1933), und zwar jedoch als gesättigte C_{14} -Säure bei dem Käfer Pachymerus dactris. Ausserdem trat im Calliphora-Fett noch eine ungesättigte C_{20} -Säure auf, die in keiner der anderen von mir untersuchten Arten gefunden wurde, jedoch schon in der Literatur nachgewiesen wurde, z.B. bei Mylabris pustulata (Coleopt.; Coccinellidae) (JYER und AYER 1931) und bei Bombyx mori (BERGMANN 1936). Weiterhin ist die ungesättigte C_{16} -Säure bemerkenswert, die auch im Fett von Tenebrio nachgewiesen wurde, bei Schistocerca und auch bei den Bienen fehlt.

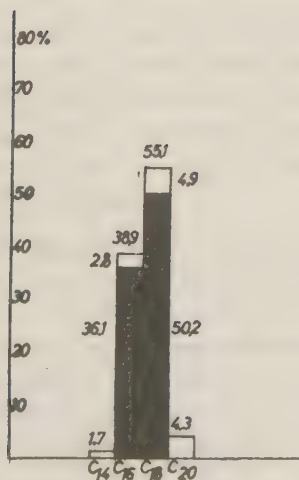
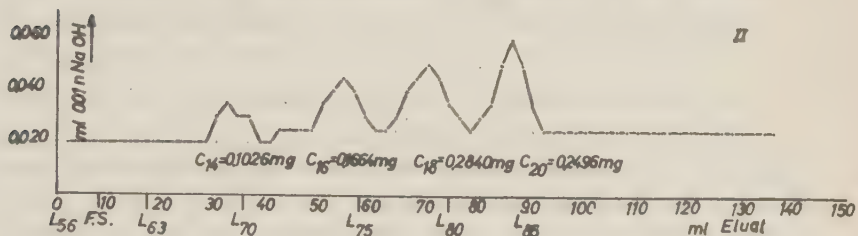
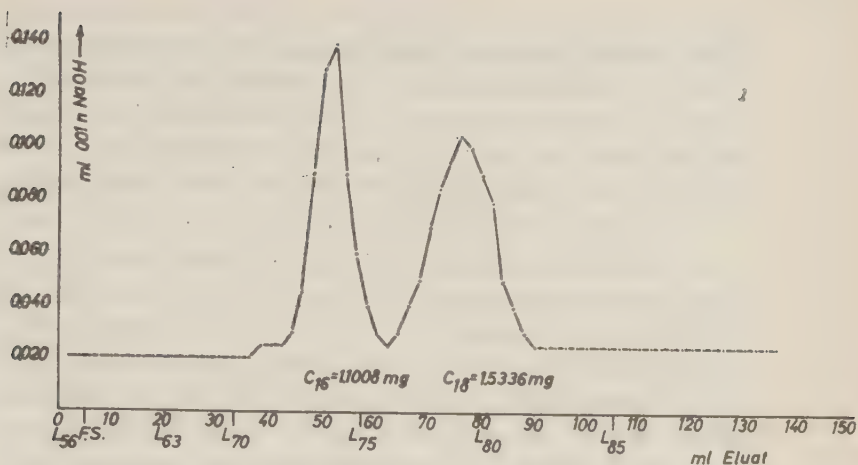


Abb.5.

Titrationkurven für die Chromatographie der I. gesättigten und II. der ungesättigten Fettsäuren von frischgeschlüpften *Calliphora erythrocephala* Meig.

Abb.6.

Graphische Darstellung der Fettsäurezusammensetzung im Fett von frischgeschlüpften *Calliphora erythrocephala* Meig.

■ = gesättigte F.S.
□ = ungesättigte F.S.

Die Gesättigten-Fraktion von *Tenebrio* wies nur Palmitin- und Stearinsäure auf. Die ungesättigten Fettsäuren setzten sich zusammen aus der ungesättigten C_{12} -Säure, wie sie auch bei den Bienen nachgewiesen wurde; einer ungesättigten C_{16} -Säure, wie sie bei *Calliphora* gefunden wurde, bei den Bienen und bei *Schistocerca* jedoch fehlte; und den ungesättigten C_{18} -Komponenten. Eine C_{20} -Säure konnte nicht nachgewiesen werden.

Schistocerca ähnelt in seiner Fettsäurezusammensetzung stark *Tenebrio* und *Apis*. Die Gesättigten-Fraktion bestand aus C_{16} - und C_{18} -Säuren. Auch hier fehlte die gesättigte C_{12} -Säure. Eine ungesättigte C_{12} -Säure trat jedoch in der Ungesättigten-Fraktion auf, wie sie auch bei *Tenebrio*, nicht dagegen bei den Bienen und bei *Calliphora* gefunden wurde. Die bei *Tenebrio* und *Calliphora* gefundene ungesättigte C_{16} -Säure fehlte im *Schistocerca*-Fett. Die C_{18} -Fraktion war jedoch wie bei allen anderen deutlich vertreten.

Die qualitative Zusammensetzung des *Calliphora*-Fettes ist deutlich von der der anderen untersuchten Arten verschieden, wie es auch aus der Tab.10 gut ersichtlich ist. Hier sind auch die quantitativen Anteile in der Fettsäurezusammensetzung bei den vier untersuchten Arten zusammengefaßt, wobei wieder verschiedene Bezugsgrößen zugrunde liegen.

Die Tab.10 zeigt wieder, daß auch bei diesen untersuchten Arten aus verschiedenen Ordnungen die C_{18} -Säuren mengenmäßig den Hauptanteil ausmachen, wenn sie bei *Calliphora* auch nur etwas mehr als die Hälfte der Gesamtfettsäuren betragen. Dieser Hauptanteil wird in allen Fällen bereits durch die Gesättigten-Fraktion bestimmt.

Bei *Calliphora* stellt die C_{14} -Säure der Ungesättigten-Fraktion nur etwas mehr als 1 % der Gesamtfettsäuren, wogegen die C_{20} -Säure in relativ großer Menge auftritt (3.3 %). Sie ist nur selten in der Literatur bestimmt worden. BERGMANN (1936) gibt sie bei *Bombyx mori* mit 1 - 2 % an, worin jedoch C_{20} - und höhere Säuren zusammengefaßt sind. Auffallend ist auch noch der Gehalt an ungesättigter C_{16} -Säure, die in den anderen untersuchten

Tab.10. Quantitative Fettsäurezusammensetzung des Fettes von frischgeschlüpften Apis, Calliphora, Tenebrio und Schistocerca. Mittelwerte aus 2 - 3 Einzelbestimmungen, auf verschiedene Bezugsgrößen berechnet.

	Apis	Calliph.	Tenebrio	Schistoc.
I. Mittelwerte aus zwei Einzelbestimmungen in % der Fettsäurefraktion:				
Gesättigte:				
C ₁₂	0.94	-	-	-
C ₁₆	16.9	41.8	18.2	21.8
C ₁₈	82.2	58.2	81.8	78.2
Ungesättigte:				
C ₁₂	13.8	-	6.6	68.9
C ₁₄	-	12.5	-	-
C ₁₆	-	20.6	10.5	-
C ₁₈	86.2	35.7	82.9	31.1
C ₂₀	-	31.2	-	-
II. Fettsäureanteile in % der Gesamtfettsäuren:				
Gesättigte:....	85.4	86.3	91.7	92.0
C ₁₂	0.80	-	-	-
C ₁₆	14.4	36.1	16.7	20.0
C ₁₈	70.2	50.2	75.0	72.0
Ungesättigte:..	14.6	13.7	8.26	8.02
C ₁₂	2.01	-	0.54	5.53
C ₁₄	-	1.72	-	-
C ₁₆	-	2.83	0.87	-
C ₁₈	12.6	4.91	6.85	2.49
C ₂₀	-	4.28	-	-
III. Säuren gleicher Kettenlänge in % der Gesamtfettsäuren:				
C ₁₂	2.82	-	0.54	5.53
C ₁₄	-	1.72	-	-
C ₁₆	14.4	38.9	17.6	20.0
C ₁₈	82.8	55.1	81.9	74.5
C ₂₀	-	4.28	-	-

Fortsetzung von Tab.10 .

	Apis	Calliph.	Tenebrio	Schistoc.
IV. Fettsäuren in mg/g Trockengewicht:				
Gesättigte:....	39.5	66.5	110.7	127.2
C ₁₂	0.37	-	-	-
C ₁₆	6.65	27.8	20.2	27.7
C ₁₈	32.4	38.7	90.5	99.6
Ungesättigte:..	6.74	10.6	9.97	11.1
C ₁₂	0.93	-	0.66	7.65
C ₁₄	-	1.32	-	-
C ₁₆	-	2.19	1.05	-
C ₁₈	5.82	3.79	8.27	3.45
C ₂₀	-	3.30	-	-

V. Fettsäuren gleicher Kettenlänge in mg/g Trockengewicht:

C ₁₂	1.30	-	0.66	7.65
C ₁₄	-	1.32	-	-
C ₁₆	6.65	30.0	21.2	27.7
C ₁₈	38.2	42.5	98.8	103.0
C ₂₀	-	3.30	-	-
Gesamt-F.S...	46.2	77.1	120.6	138.3

Fällen nur noch bei *Tenebrio* auftritt. Sie ist (meines Wissens ebenfalls nur einmal in der Literatur) bei der Puppe von *Bombyx mori* mit 2 % angegeben (BERGMANN 1936). Weiterhin ist der relativ niedrige Gehalt an ungesättigten C₁₈-Säuren bemerkenswert, der nur noch bei *Schistocerca* unterschritten wird.

Bei den drei untersuchten Arten *Apis*, *Tenebrio* und *Schistocerca*, die in der überwiegenden Kohlenhydratnahrung eine Gemeinsamkeit haben, ist eine Ähnlichkeit in ihrer Fettsäurezusammensetzung nicht nur qualitativ, sondern teilweise auch in quantitativer Hinsicht feststellbar. Wegen des viel größeren Fettgehaltes bei *Tenebrio* und *Schistocerca* ist es zweckmäßig, die Teile II. und III. der Tab.10 zum Vergleich heranzuziehen. Die C₁₆- und C₁₈-Anteile an der Gesättigten-Fraktion liegen in ähnlicher Größe.

Schon hier wird der Unterschied gegenüber *Calliphora* deutlich hervorgehoben. Auch in der Ungesättigten-Fraktion sind gewisse Übereinstimmungen festzustellen, ganz abgesehen von dem rein qualitativen Unterschied des *Calliphora*-Fettes.

Zwischen *Tenebrio* und den Bienen gibt es eine gute Übereinstimmung. Auffallend ist das Fehlen von gesättigter C_{12} -Säure und das Vorhandensein von ungesättigter C_{16} -Säure bei *Tenebrio* gegenüber den Bienen, die sich mengenmäßig ergänzen. *Schistocerca* ähnelt in seiner quantitativen Fettsäurezusammensetzung mehr *Tenebrio* als den Bienen. Dabei ist das umgekehrte Mengenverhältnis der ungesättigten Anteile von C_{12} - und C_{18} -Säuren bemerkenswert.

Obwohl durch die verschiedenen Betrachtungsweisen hinsichtlich der Bezugsgrößen und Umrechnungen ein guter Überblick über die Fettzusammensetzung bei verschiedenen Insekten erhalten wird, werden die hier aus den rein analytischen Ergebnissen erhaltenen Zusammenhänge erst durch eine biologische Betrachtungsweise vervollständigt.

D.

Diskussion.

1. Literaturübersicht:

Auf Grund der verschiedenen Energiequellen, die Insekten für ihren Stoffwechsel benutzen, erscheint es angebracht, Untersuchungen über die Veränderungen ihres Körperfettes hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung vorzunehmen. Solche Versuche, die derartige Fragestellungen behandelten, wurden schon früher unternommen. Sie bestätigen auch die Berechtigung zu solchen Fragen.

SMITH (1940) gibt über die bis 1939 bekannte Literatur von natürlichen Fetten und Ölen einen Überblick über tierische Fette, unter ihnen auch solche von Insekten, wonach bei japanischen Wildbienen hauptsächlich Palmitin-, Stearin-, Ol- und Linolsäure,

also vornehmlich C_{18} -Säuren vorkommen (UENO und KOMORI 1937). Dieselben Hauptbestandteile fanden JANOT und FAUDEMAY (1937) bei dem Blasenkäfer *Lytta vesicatoria* Fb. Die Untersuchungen von BACHSTEDT und ARAGON (1942) an der Raupe von *Acentrocne hesperiaris*, die von dem Zellsaft der mexikanischen Agave, *Agave atrovirens* Karw., lebt, als Beispiel für die Umwandlung von Zucker in Fett in einem tierischen Organismus, erbrachte dasselbe Ergebnis, wobei jedoch die Linolsäure fehlte und die Ölsäure rund 60 % der Gesamtfettsäuren ausmachte. Auch THOMS (1913) gibt für den brasilianischen Schmetterling, *Myelobia smerintha* Hüb., einen Fettgehalt von 22 % an, dessen Fettsäuren aus ca. $\frac{1}{3}$ gesättigten (Palmitin- und Stearinsäure) und $\frac{2}{3}$ ungesättigten (Ölsäure) bestehen. Dies mag auf die Art ihrer Bestimmung zurückzuführen sein, die ausschließlich mit Hilfe der Bleisalzmethode und der Methylesterdestillation durchgeführt wurde.

Einige weitere Arbeiten über die Fettsäurezusammensetzung einiger Insektenfette ist in der Tab. 11 als Überblick wiedergegeben.

Die von mir gefundenen Werte decken sich gut mit den in der Literatur angegebenen Werten für die Kennzahlen anderer Insekten. Jedoch ist auffallend, daß die prozentualen Anteile der Ungesättigten-Fraktionens wesentlich höher liegen als in der vorliegenden Arbeit, was wohl auf methodische Gründe zurückzuführen ist.

TIMON-DAVID (1931) untersuchte das Fett von *Pyrausta nubilalis* Hüb. (Coleopt.) und *Exeristes roborator* Fab. (Terebrantes), dessen Larven in den Raupen des Maiszünslers *Pyrausta* leben. Durch den Vergleich einiger Kennzahlen, des Brechungsindex, der in Äther unlöslichen Anteile nach der Bromierung, des Unverseifbaren und der mittleren Fettsäuremolekulargewichte des Fettes von Wirt und Parasit ergab sich, daß der Parasit die Fettbestandteile des Wirtes in dem eigenen Stoffwechsel einbaut.

An anderer Stelle gibt TIMON-DAVID (1927) auch einen kurzen Überblick über verschiedene Insektenfette hinsichtlich der im Körper vorhandenen Menge, ihrer Farbe und ihres Geruches, sowie

Tab.11. Übersicht über die chemische Zusammensetzung einiger Insektenfette.
Gesamtlipid (GL) in % vom Trockengewicht, Säuren und Unverseifbares
(UV) in % der Gesamtfettsäuren.

	Gesättigte:						Ungesättigte:						Kennzahlen:					
	GL	C ₁₂	C ₁₄	C ₁₆	C ₁₈	C ₂₀	Insg.	C ₁₆	C ₁₈	-H ₂	-H ₄	-H ₆	C ₂₀₋₂₂	Insg.	UV	JZ	SZ	VZ
<i>Lytta vesicatoria</i> JANOT und FAUDEMAY (1937)				37	4		41		41	32	6	3		41	18	100	109	187
<i>Acetrocroene</i> hesp. BACHSTETZ u. ARAGON (1942)	35			30.0	3.6		33.6		64.4	6C.1	4.3			64.4	2.059.3	2.3	179.9	
<i>Pachymerus dactris</i> COLLIN (1933)	45-50	24	21	8	4.5		57.5		7.5	32	3			42.5		37.4	3.2	260.7
<i>Carpocapsa pomon.</i> HASTINGS u. PEPPER (1944)	44.2						12		88	68.2	11.4	8.4		88	1.3	100	8.1	202
<i>Mylabris pustulata</i> JYER und AYER (1931)	12.5	+		11	27	1	39		46	+				46	15	43	150	-
<i>Bombyx mori</i> BERGMANN (1936)		?	20	4	1		25	2	75	35	12	25	1-2	75	2	123	8	191.7
<i>Lexostotege strict.</i> PEPPER u. HASTINGS (1943)	12.1						25			38.3	13.3	323.4		75		123	23.8	187.1

ihrer Jodzahlen. Auf weitere analytische Daten wird jedoch nicht eingegangen.

COLLIN (1933) fand, daß auch das Fett der Käferlarve *Pachymerus dactris* L. dem der Palmnuß *Mavicaria saccifera*, die dem Käfer als Nahrung dient, qualitativ sehr stark ähnelt. Quantitativ jedoch ergaben sich gegenüber dem Nahrungsfett erhebliche Unterschiede, was darauf schließen läßt, daß die Insekten teilweise das pflanzliche Fett ohne Umbau einbauen und teilweise entweder in ihrem Stoffwechsel abbauen (nach dem Ergebnis von COLLIN 1933 die Laurinsäure), wie dies bei den Coleopteren allgemein bekannt ist, oder von den Kohlenhydratvorstufen ausgehend selbst ihr Körperfett aufbauen können (nach COLLIN die Ölsäure).

Obwohl die Wachsmotte *Galleria melonella* sich ausschließlich von Wachs ernährt, konnte MANUNTA (1933) im Fett derselben keine Fettsäuren mit langer Kohlenstoffkette finden. Das Tier kann sogar ohne Stickstoff allein mit Cerotinsäure und Myricin am Leben erhalten werden, was auf einen selbständigen Fettsäure-Umbau schließen läßt. Deshalb geht der Verfasser auf die möglichen Stoffwechselprozesse ein.

TIMON-DAVID (1928a) untersuchte an Raupen des Maiszünslers *Pyrausta nubilialis* Hübn. die Veränderungen im Fettgehalt während der Überwinterung. Dabei wurde gefunden, daß der Gehalt an Reservefett während der ganzen Raupenentwicklung praktisch gleich bleibt und erst mit der Verpuppung auf $\frac{1}{3}$ absinkt, wobei jedoch die Jodzahl des Fettes bei der Raupe und der Puppe sich nicht verändert. Damit werden also die gesättigten wie die ungesättigten Fettsäuren gleichmäßig abgebaut und verbraucht.

Auch SLIFER (1930) fand, daß sich der Fettgehalt bei den Eiern der Heuschrecke *Melanoplus differentialis* während der Winterruhe kaum ändert. Erst mit dem Einsetzen der Frühjahrsentwicklung geht die Fettmenge auf die Hälfte zurück, wobei die Geschwindigkeit des Fettabbaues temperaturabhängig ist. Damit wird ebenfalls bewiesen, daß für die Entwicklung vom Ei zur Imago

Fett als Hauptenergiequelle dient, was für den Orthopteren-Stoffwechsel charakteristisch erscheint.

Eine kurze Literaturübersicht findet sich bei TIMON-DAVID (1928b). Der Verfasser teilt die Insekten in vier Gruppen ein nach der Art ihrer Ernährung:

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Fettfresser | 3. Eiweißfresser |
| 2. Kohlenhydratfresser | 4. Fresser gemischter Kost |

Weiterhin gibt er einen kurzen Überblick über die Kennzahlen und andere analytische Daten einiger Insektenfette (Brechungsindex, Unverseifbares, spezifisches Gewicht und mittleres Fettsäuremolekulargewicht). Unter diesen ist auch das Fett von *Tenebrio molitor* L. beschrieben:

Die in Klammern angegebenen Zahlen stellen die aus meinen eigenen Untersuchungen gewonnenen Werte dar.

Gesamtlipid.....	14.5 %	(16.19 %)
Spezifisches Gewicht.....	0.9238 bei 15°C	-
Brechungsindex.....	1.4732 bei 11°C	-
bzw. geschätzt.....	1.4717 bei 15°C	-
Jodzahl.....	86 bis 92.8	(104.2)
Unverseifbares.....	1.19 %	(0.85 %)
Verseifungszahl.....	195.8	(193)
Mittleres F.S.-Molek.-Gew.....	279.7	(278)
Neutralisationszahl der unlöslichen Fettsäuren.....	200.2	-
Jodzahl der unlöslichen F.S....	99.2	-

Die aus beiden Untersuchungen gewonnenen Werte stimmen relativ gut überein.

2. Auswertung der Analysen:

Die qualitative Zusammensetzung des Bienenfettes bleibt das ganze Leben hindurch gleich. Man kann hier ebenfalls - wie bei anderen Tieren - ein körpereigenes Fett und eine selektive Auslese aus dem Nahrungsfett bzw. einen speziellen Umbau des Nahrungsfettes annehmen. Demgegenüber ändert sich jedoch die quantitative Fettsäuresu-

sammensetzung im Fett, in Abhängigkeit vom Alter, der Ernährung und des physiologischen Zustandes.

In diesem Zusammenhang sind vor allem die ungesättigten Fettsäuren, darunter insbesondere die essentiellen Fettsäuren, von Bedeutung, worüber auch die Tab.2 und 4 Aufschluß geben kann. Nimmt man das als charakteristisch angenommene Fett der frischgeschlüpften Bienen und seine Kennzahlen als Ausgangswerte an, so läßt sich eine deutliche Kurve in Abhängigkeit von Alter, Ernährung und physiologischem Zustand erkennen. Die Baubienen, die altersmäßig auf die frischgeschlüpften Bienen folgen, nehmen mit ihrer natürlichen Nahrung (Pollen mit Pollenfett) eine größere Menge an ungesättigten Fettsäuren auf. Diese ungesättigten Anteile sind vermehrt bei den Flugbienen um das Dreifache und erreichen hier zugleich einen Höchststand, der vielleicht die Winterreserven darstellt. Dies äußert sich sowohl in der Jodzahl, die laufend steigt, als auch in der Größe der Ungesättigten-Fraktion der Analyse (Tab.4). Durch den laufenden Verbrauch an ungesättigten Fettsäuren fällt dieser Bestand im Winter wieder auf die Hälfte des Bestandes bei den frischgeschlüpften Bienen ab. Vor allem sinkt die Jodzahl derart, daß daraus zu entnehmen ist, daß vornehmlich Linol- und Linolensäure verbraucht werden und als nicht-essentielle Fettsäure die Ölsäure übrigbleibt.

Dementsprechendes ergibt sich auch aus der Säurezahl der Tab.2 und dem Prozentgehalt an freien, ungebundenen Fettsäuren aus Tab.3.I. Im Zusammenhang mit dem erhöhten Stoffwechsel vor allem bei der Wachsproduktion sind relativ große Mengen an freien, ungebundenen Fettsäuren im Organismus vorhanden. Sie können sowohl aus den körpereigenen Fettreserven als auch aus der Nahrung stammen. Durch hydrolytische Spaltung des Pollenfettes werden sie freigesetzt und können dann in körpereigenes Fett übergeführt werden. Eine Aufspaltung des Körperfettes in freie Fettsäuren dürfte vornehmlich bei den Baubienen bei der Wachsproduktion zutreffen, ein Einbau in körpereigenes Fett hauptsächlich bei den Flugbienen. Dadurch, daß der Gehalt an freien, ungebundenen Fettsäuren im Winter wieder abnimmt (Tab.3.I.),

ist auf ein Sinken des Fettstoffwechsels im Winter zu schließen. Es kann bei diesen Betrachtungen freilich nur auf die Gesamt-Fett-Fraktion bezug genommen werden.

Dadurch, daß die Verseifungszahl in allen Altersstufen konstant bleibt, zeigt die Esterzahl den genau umgekehrten Trend der Säurezahl. Die Menge der Ester im Fett ist also bei den Baubienen am geringsten. Hier wird ja - wie schon oben erwähnt - das Fett zur Wachsbildung größtenteils eingeschmolzen und abgebaut.

Die aus der Verseifungszahl theoretisch errechneten mittleren Molekulargewichte von Triglyceriden und von Fettsäuren stimmen mit den experimentell gewonnenen Werten, wie sie aus der säulenchromatographischen Analyse hervorgehen, relativ gut überein. Die größte Schwankung ergibt sich bei den Baubienen. Sie könnte eventuell dadurch erklärt werden, daß die Glyceride bei der "Einschmelzung" nur teilweise angegriffen werden, wobei also Di- und Monoglyceride entstehen. Ihre Berücksichtigung bei der Berechnung würde den experimentellen Werten näherkommen. Ebenso trifft dies in geringerem Maße für die Winterbienen zu; es könnte durch die Annahme erklärt werden, daß die für den Stoffwechsel notwendigen, ungesättigten, essentiellen Fettsäuren aus den Triglyceriden selektiv abgespalten werden.

Die geringen Schwankungen im Gesamtlipidgehalt bei den untersuchten Bienen sind darauf zurückzuführen, daß Bienen verschiedenen Alters und auf Grund ihrer Tätigkeit verschiedenen physiologischen Zustandes vorliegen.

Ganz allgemein zeigt die fallende Tendenz des Fettgehaltes mit zunehmendem Alter an, daß der Fettkörper langsam abgebaut wird, so daß er bei den Winterbienen den tiefsten Wert erreicht. Der nach der Überwinterung verbleibende Rest dieser Stoffreserve dürfte vielleicht das sogenannte "élément constante" (BALDWIN 1957) darstellen. Er reicht für den Energiebedarf nicht mehr aus und die Tiere gehen trotz reichlicher Kohlenhydratkost gegen Ende des Winters ein.

Der auffallend niedrige Fettgehalt bei den Baubienen dürfte

durch die Wachsproduktion bedingt sein. Das Wachs wird aus körpereigenen Fettreserven mit Hilfe höherer Fettalkohole (Wachsalkohole) gebildet. Während dieser Tätigkeit wird laufend Körperfett "eingeschmolzen". Durch die natürliche Nahrung kann der Fettbestand im Körper jedoch auf einem bestimmten Niveau gehalten und laufend ergänzt werden. Erst nach Abschluß dieser Wachsproduktion steigt er wieder auf eine dem Alter der Bienen entsprechende Höhe an, wie es sich bei den Flugbienen zeigt. Dies kann deshalb angenommen werden, weil das Körperfett nur um ca. ein Viertel bei den Baubienen verringert wird, der Lipoidgehalt jedoch um die Hälfte ansteigt. Ansonsten kann der Lipoidgehalt ebenso wie der Phosphatidanteil am Lipoid als konstant betrachtet werden. Der verdoppelte Wachsanteil bewirkt somit den weit größeren Gesamtlipidgehalt bei den Baubienen.

Bei den Flugbienen ist der "Ausgangszustand" der frischgeschlüpferten Bienen nicht ganz wiederhergestellt. Dies geht aus dem Verhältnis der Phosphatide zum Wachs etc. hervor. Hier ist die Wachsproduktion erst kurz vor diesem Zustand abgeklungen. Die Winterbienen dagegen haben dieses "Anfangsverhältnis" längst wieder erreicht, obwohl der Fettgehalt jetzt um die Hälfte zurückgegangen ist. Durch die einseitige Kohlenhydraternährung können keine neuen Fettreserven in dem gleichen Maße, wie sie verbraucht werden, wie bei den Bienen mit natürlicher Nahrung nachgeliefert bzw. nachgebildet werden.

Die Ungesättigten-Fraktion steigt mit zunehmendem Alter vorübergehend an. Die Gesättigten-Fraktion dagegen nimmt laufend ab; zuerst rapide, durch den hohen Stoffwechsel der Baubienen bei der Wachsbildung bedingt, und dann langsam weiter. Die tiefsten Werte der Gesättigten- und Ungesättigten-Fraktion treffen sich auch hier wieder bei den einseitig ernährten Winterbienen. Dies beweist, daß der Fettstoffwechsel bei den Bienen eine beträchtliche Rolle im Laufe ihres Kastenlebens spielt.

Die gesättigte C_{12} -Säure macht immer den geringsten Anteil der Gesamtfettsäuren aus. Sie stellt anscheinend nur ein Ab- oder Aufbauprodukt dar, dessen Vermehrung auf die etwa doppelte

bzw. ein-einhalb-fache Menge bei den Baubienen und Winterbienen auffällt. Hier ist die C_{12} -Säure wahrscheinlich am Aufbau der Wachsfettsäuren bzw. am allgemein intensivierten Fettstoffwechsel beteiligt.

Die gesättigte C_{16} -Säure wird mit zunehmendem Alter zusammen mit den übrigen Fettsäuren in den Gesamtfettstoffwechsel geschleußt und verbraucht. Besonders auffällig ist jedoch der geringe Gehalt bei den Baubienen. Das Bienenwachs besteht zum größten Teil aus C_{16} -Derivaten (KAUFMANN und POLLERBERG 1957): Palmitinsäure (18.9 %), Hexadecensäure (6.5. %) und Oxypalmitinsäure (3.2. %). Daher ist es verständlich, daß der C_{16} -Spiegel bei der Wachsproduktion im Gesamtfett auf ca. ein Sechstel der ursprünglichen Menge rapide abfällt. Erst bei den Flugbienen kann er durch die natürliche Nahrung wieder verdoppelt werden. Bei den Winterbienen dagegen führt der Gesamtfettsäurestoffwechsel zu einem weiteren Abfall der C_{16} -Fraktion.

Obwohl die Stearinsäure nur zu 2.7 % im Bienenwachs enthalten ist (KAUFMANN und POLLERBERG 1957), macht sich auch hier bei den Baubienen ein Rückgang bemerkbar, der weiter fortschreitet bei den Flugbienen. Hier zeigt sich, daß die gesättigte C_{18} -Säure durch ungesättigte C_{18} -Komponenten ersetzt wird. Letztere stellen ja für den Winterbedarf die eigentliche Stoffwechselreserve dar. Dies geht daraus hervor, daß der weitere Abbau der Stearinsäure sich bis zu den Winterbienen sehr langsam vollzieht, der Abbau der ungesättigten C_{18} -Säuren jedoch umso mehr stattfindet, wie es schon an Hand der Jodzahl erwartet werden konnte. Das Zwischenminimum bei den Baubienen in der ungesättigten C_{18} -Fraktion dürfte ebenfalls wieder im Zusammenhang mit der Wachsproduktion stehen. Vor allem ist anzunehmen, daß die ungesättigten C_{18} -Säuren das Ausgangsmaterial für die im Wachs enthaltenen C_{22} -, C_{24} -, C_{26} -, C_{28} - und C_{30} -Säuren darstellen, wo sie in Mengen zwischen 1 und 8 % vorkommen (KAUFMANN und POLLERBERG 1957).

Auffallend ist dabei, daß im Körperfett selbst keine höheren Fettsäuren als C_{18} -Komponenten nachgewiesen werden konnten.

Die Wachsfettsäuren selbst dürften daher erst in den Zellen, die für die Wachsbildung verantwortlich sind, gebildet und dort gleich in die Wachsester verwandelt werden. Sie treten somit weder im Intermediärstoffwechsel noch im gespeicherten Körperfett in nachweisbarem Umfang auf.

Auffallend ist auch der relativ hohe Gehalt an ungesättigter C_{12} -Säure bei den Baubienen gegenüber den frischgeschlüpften Bienen. Er könnte dadurch erklärt werden, daß die ungesättigte C_{12} -Säure ein Abbauprodukt bei dieser Wachsbildung darstellt und sich im Fett anreichert. Ebenso gut kann sie auch - wenn es sich um die β -ungesättigte C_{12} -Säure handelt - als Baustein für die Wachsfettsäuren dienen. Auf Grund des geringen Anstiegs der ungesättigten C_{12} -Fraktion bei den Winterbienen im Verband der Gesamtfettsäuren kann jedoch angenommen werden, daß sie vor allem als Abbauprodukt im allgemeinen Stoffwechsel auftritt.

Es hat sich gezeigt, daß die Wachsproduktion bei den Bienen die Fettsäurezusammensetzung beeinflußt. Nur durch die Zufuhr von natürlicher Nahrung können der Fettbestand wieder aufgeholt und die notwendigen Fettsäuren wieder ergänzt werden, um als Energiereserve im Winter zu dienen. Neben der Funktion einer Energiequelle und Stoffwechselreserve hat der Fettkörper vielleicht eine entscheidende Funktion im Zusammenhang mit der Wachsproduktion in einem so großen Umfang, wie er bei den Baubienen vorliegt, da durch die Nahrung die notwendigen Aufbaustoffe nicht schnell genug in der entsprechenden Form herangeschafft werden können. Er ist auch für den Umbau der Nahrungsfettsäuren verantwortlich, und man kann ihm daher die Rolle eines "Schmelztiegels" zuschreiben.

Je ein Vertreter der Orthopteren und Coleopteren, die als "Fettverbrenner" gelten, d.h. fast ohne Blutzucker leben und Fette zur direkten Energiequelle machen, wurden zum Vergleich den Vertretern der Dipteren und Hymenopteren, die einen relativ hohen Blutzuckerspiegel aufweisen, gegenübergestellt.

Hierzu wurden frischgeschlüpfte Tiere, also Tiere des gleichen physiologischen Zustandes, verwendet, da deren Fettzusammensetzung vielleicht als charakteristisch angenommen werden kann. Ein Argument hierzu ist, daß in Insektenlarven der Fettgehalt während der Metamorphose zunächst langsam zunimmt und in der Imago wieder abnimmt (ZAKOLSKA 1929), wie es auch aus den Ergebnissen bei den Bienen deutlich hervorgeht.

Die qualitative Fettsäurezusammensetzung im Fett gibt im Vergleich am deutlichsten die Beziehungen zwischen den einzelnen Arten mit verschiedener bzw. gleicher Nahrung wieder. Dies drückt sich vor allem in der Ungesättigten-Fraktion aus.

Die ungesättigte C_{14} -Säure bei *Calliphora* könnte eventuell im Zusammenhang mit der Eiweißnahrung stehen. Sie entspricht bei den Kohlenhydratfressern mengenmäßig etwa den C_{12} -Säuren, die bei *Calliphora* fehlen. In der Literatur ist sie bei Insekten meines Wissens als solche nirgends angegeben. Lediglich für den Käfer *Pachymerus dactris* L. (COLLIN 1933) ist sie einmal im Gesättigtenanteil des Gesamtfettes mengenmäßig erfaßt. Ihr Auftreten könnte mit der Nahrung, wo sie im Zellfett enthalten ist, oder eventuell mit dem Eiweißstoffwechsel des Tieres im Zusammenhang stehen.

Bei *Tenebrio* ist die ungesättigte C_{12} -Säure etwa in der gleichen Menge wie bei den Bienen vorhanden, während im Fett der Heuschrecke *Schistocerca* etwa die 10-fache Menge nachgewiesen wurde. Dies dürfte auf ihren größeren Fettstoffwechsel zurückzuführen sein, wobei sie auch hier als Ab- oder Bauprodukt gebildet wird. Eine C_{12} -Säure wurde bei Insekten ebenfalls nirgends in der Literatur für die Ungesättigten-Fraktion nachgewiesen.

Die in der Ungesättigten-Fraktion gefundenen C_{20} - und C_{16} -Säuren bei *Calliphora* dürften ebenfalls aus der Nahrung stammen. Für das Chrysaliden-Öl des Kokons von *Bombyx mori* wies BERGMANN (1936) ebenfalls eine ungesättigte C_{20} -Säure nach. Ihr Auftreten könnte eventuell auch mit dem hohen Eiweißstoffwechsel der Tiere in Verbindung gebracht werden. Viel-

leicht läßt sich auch das Vorhandensein der C_{16} -Säure (für *Bombyx mori* L. ebenfalls von BERGMANN 1936 nachgewiesen) damit erklären. Sie wurde auch bei *Tenebrio* nachgewiesen. *Tenebrio* nimmt ja mit der Nahrung ebenfalls Eiweiß, das die Aleuronschicht in der Kleie bildet, auf.

Der Vergleich der Jodzahlen bringt neue Übereinstimmungen zwischen den einzelnen Arten mit ähnlicher Ernährung. Die durch die Jodzahl erfaßten ungesättigten Fettsäuren werden aus der Nahrung laufend ergänzt. Deshalb liegt ihr Gehalt bei *Calliphora* nicht sehr hoch. Nach der Jodzahl zu schließen, ist bei *Calliphora* eine ähnliche Anzahl von Doppelbindungen in der Ungesättigten-Fraktion wie bei den Bienen vorhanden. *Tenebrio* und *Schistocerca* dagegen haben trotz der geringen Mengen ungesättigter Fettsäuren anscheinend größtenteils die hoch-ungesättigten Säuren Linol- und Linolen-Säure gespeichert. Ihre Übereinstimmung ist besonders auffallend. Sie zeigt, daß die beiden Arten aus ihrer Nahrung etwa die gleichen Mengen an ungesättigten Fettbestandteilen in ihr Körperfett einbauen.

Die Säurezahl vermittelt wieder einen Einblick in den Fettstoffwechsel. Danach müßte *Schistocerca* den größten Umsatz haben. Die Konzentration der freien, ungebundenen Fettsäuren ist sehr niedrig. Dies läßt auf den schnellen Abbau und den schnellen Verbrauch der freigemachten Fettsäuren für die Energielieferung schließen. Dem gegenüber weist *Tenebrio* wohl einen trägeren Fettstoffwechsel auf. Die Säurezahl bei *Tenebrio* kommt auf Grund der Glycolbildung der der Bienen nahe. Das Glycol kann ebenso wie andere Wachse aus den Fettsäuren des Körperfettes aufgebaut werden.

Bei der Verseifungszahl weicht die von *Calliphora* etwas ab, was auf den Gehalt an C_{20} -Säure im Fett zurückzuführen ist. Außerdem dürften hier - wie schon erwähnt wurde - Di- und Monoglyceride auftreten. Dies drückt sich besonders in dem relativ großen Unterschied der errechneten und experimentell gewonnenen mittleren Molekulargewichten der Fettsäuren aus.

Die unterschiedlichen Werte im Gesamtlipidgehalt und dessen Fett- und Lipoidanteilen bei den untersuchten Arten könnten auf ihre Unterschiedlichkeit hinsichtlich ihrer Ernährung zurückzuführen sein. Der Gesamtlipidgehalt bei *Calliphora* liegt etwa um ein Drittel höher als bei den Bienen. Dies wird dadurch erklärt, daß *Calliphora* zwar einen geringeren Blutzuckerspiegel als die Bienen aufweist, in ihrer Nahrung aber in genügender Menge Fett in Form von Zellfett der Muskulatur vorliegt und daher etwas mehr gespeichert wird. Ihr Gesamtlipidgehalt kommt aber gegenüber den Fettverbrennern *Tenebrio* und *Schistocerca* dem der Bienen am nächsten. Der Lipoidanteil, der zu rund 80 % aus Phosphatiden besteht, enthält daneben nicht wie bei den Bienen vorwiegend Wachs, sondern andere Lipide, die ja in reichlicher Menge in der Nahrung von *Calliphora* enthalten sind.

Deutlich verschieden von den beiden Kohlenhydratverbrennern sind die Werte bei den Fettverbrennern. Dadurch, daß der Energiestoffwechsel hauptsächlich auf dem Fettabbau basiert, müssen zu seiner Deckung entsprechend große Mengen an Reserven im Körper vorhanden sein. Weiterhin kommt hinzu, daß die Nahrung von *Tenebrio* zwar Fett enthalten dürfte, der Wasserhaushalt des Käfers jedoch ziemlich von seinem trockenen Milieu beeinflußt wird. Eine Deckung des Wasserbedarfs ist durch die Fettverbrennung möglich; denn ein Mol Fett liefert bei der Verbrennung rund die doppelte Menge Wasser als ein Mol Kohlenhydrat oder Eiweiß. Umgekehrt liegen die Verhältnisse zwar bei *Schistocerca*, dessen Nahrung genügend Wasser, jedoch ziemlich wenig Fettstoffe enthält. Dies veranlaßt die Speicherung des Fettes im Körper, zumal die Heuschrecke viel größere Energiemengen verbraucht als *Tenebrio*.

Die Lipoidanteile liegen bei *Tenebrio* und *Schistocerca* etwa um ein Viertel niedriger als bei den vorher untersuchten Arten *Apis* und *Calliphora*. Dies mag daran liegen, daß die Nahrung kaum in größeren Mengen Lipide enthält, und zum anderen keine Wachsproduktion wie bei den Bienen stattfindet.

Schistocerca gleicht in ihrem Lipoid- und Phosphatidanteil (Tab.6.III. und IV.) stark dem von Calliphora, was diese Gründe bestätigt. Der Phosphatidanteil am Lipoid ist bei Tenebrio kleiner als bei Calliphora und Schistocerca und entspricht etwa dem der Bienen, was auf das bereits erwähnte sogenannte Tenebrio-Glycol (SCHULZ und BECKER 1931) zurückzuführen sein dürfte. Dieser wachsartige Stoff, ein C_{30} -Diol, der auch in den Exkrementen der Mehlwürmer vorkommt, dient als Überzug auf der Cutis wohl vor allem als Schutz gegen Wasserverdunstung. Es ist anzunehmen, daß auch die Imagines auf der Chitinschicht eine solche Wachsschicht tragen; denn ein solch hoher Gehalt von rund 35 % an anderen Lipoiden allein ist hier unwahrscheinlich.

Daß die Fettsäurezusammensetzung auch bei den Insekten wesentlich von der Nahrung abhängt, wird aus der qualitativen Anteiligkeit der einzelnen Fettsäuren in den verschiedenen Fraktionen deutlich (vergl. Tab.10.I.). Dabei spielt es keine Rolle, ob Insekten vorliegen, die Fett oder Kohlenhydrate zur Energiequelle machen, obwohl aus den quantitativen Anteilen in der Fettsäurezusammensetzung einige Rückschlüsse gezogen werden können. Auf Grund des quantitativen Verhältnisses geht aus diesen hervor, daß die Fettverbrenner in ihrer Fettzusammensetzung untereinander ähnlicher sind als im Vergleich zu den Kohlenhydratverbrennern wie hier den Bienen.

Der gesamte Fettstoffwechsel bei den Fettverbrennern dürfte sich allem Anschein nach besonders in der Ungesättigten-Fraktion abspielen. Diese spielt ja neben dem Energiestoffwechsel auch im Baustoffwechsel die wesentlichste Rolle. -

Zusammenfassung.

Untersucht wurde das Körperfett der Honigbiene *Apis mellifica* L. in verschiedenen Altersstufen und physiologischen Zuständen (verschiedene Ernährung und Tätigkeit im sozialen Verband): bei frischgeschlüpften Bienen, Baubienen, Flugbienen und Winterbienen. Zum Vergleich gelangten typische Vertreter aus anderen Insektenordnungen mit verschiedener Ernährung und unterschiedlichem energiebildenden Grundstoffwechsel in vergleichbaren physiologischen Zuständen: frischgeschlüpfte Imagines von *Calliphora erythrocephala* Meig., *Tenebrio molitor* L. und *Schistocerca gregaria* Forsk.

Zur qualitativen und quantitativen Analyse des chemischen Aufbaues des Insektenfettes, insbesondere seiner Fettsäurezusammensetzung, wird eine einfache Methode angegeben. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

1. Der nahezu konstante Gesamtlipidgehalt der Bienen beträgt rund 9 % des Trockengewichtes. Lediglich die Baubienen zeigen auf Grund ihrer wachsbildenden Tätigkeit einen höheren Wert. Bei den Winterbienen sinkt der Gesamtlipidgehalt etwas ab. Der Gehalt an Fetten im engeren Sinne am Gesamtlipoid zeigt bei den Bienen Veränderungen, während der Phosphatidgehalt mit etwa 3 % ständig nahezu gleich bleibt. Der bei den Baubienen auffallend erhöhte Gehalt an anderen Lipoiden dürfte mit der Wachsbildung zusammenhängen.
2. Die Jodzahl steigt von den frischgeschlüpften Bienen bis zu den Flugbienen an und fällt bei den Winterbienen bis fast auf die Hälfte ab. Die Säurezahl hat bei den Baubienen ihr Maximum und liegt im Winter um etwa ein Drittel tiefer. Die Verseifungszahl bleibt stets gleich.
3. Die Chromatographie erbringt bei allen Bienen eine quali-

tativ gleiche Fettsäurezusammensetzung. In der Gesättigten-Fraktion werden nachgewiesen: Laurinsäure (C_{12}), Palmitinsäure (C_{16}) und Stearinsäure (C_{18}); in der Ungesättigten-Fraktion nur C_{12} - und C_{18} -Säuren.

4. Aus den quantitativen Unterschieden im Gehalt an den einzelnen Säuren wird geschlossen, daß die Wachsproduktion und die Überwinterung an den Fettstoffwechsel erhöhte Anforderungen stellen, die sich auf das ganze Körperfett auswirken und auch durch die natürliche Nahrung nur zum Teil ausgeglichen werden können.
5. In den Analysen der Lipide der anderen Insekten zeigt *Calliphora* einen Gesamtlipidgehalt von 12.7 % des Trockengewichtes, einschließlich 3.5 % Phosphatiden; *Tenebrio* enthält 16.2 % (mit 2 % Phosphatiden) und *Schistocerca* 18.6 % (mit 3 % Phosphatiden) des Trockengewichtes an Gesamtlipid.
6. Bei *Calliphora* wird in der Gesättigten-Fraktion nur Palmitin- und Stearinsäure gefunden. Die in der Ungesättigten-Fraktion außer C_{16} - und C_{18} -Säuren nachgewiesenen C_{14} - und C_{20} -Säuren werden auf die Ernährung der *Calliphora*-Larven zurückgeführt. *Tenebrio* und *Schistocerca* weisen ebenfalls nur gesättigte C_{16} - und C_{18} -Säuren auf, zeigen aber in der Ungesättigten-Fraktion C_{12} -Säure, neben C_{16} - (nur bei *Tenebrio*) und C_{18} -Säuren.
7. Die vier Vertreter aus verschiedenen Insektenordnungen werden an Hand der qualitativen und quantitativen Analysendaten verglichen und die Ergebnisse im Zusammenhang mit der Ernährung und dem verschiedenen Grundstoffwechsel der Arten zu deuten versucht.

Summary.

The body fat of honey bee *Apis mellifica* L. was investigated in different stages of life and physiological states (different

nutrition and activity in the social state): freshly-hatched bees, wax-building bees, forager bees and winterbees. Typical representatives of other insect orders with different modes of nutrition and basic energy-building metabolic processes were compared with those of comparable physiological states: freshly-hatched adults of *Calliphora erythrocephala* Meig., *Tenebrio molitor* L. and *Schistocerca gregaria* Forsk.

For the qualitative and quantitative analysis of the chemical composition of the insect fat, especially of the composition of their fatty acids, a simple method is given by which the following results were achieved:

1. The nearly constant proportion of the total lipid of the bees amounts to nearly 9 per cent of the dry weight. Only the wax-building bees, because of this activity, show a higher value. With the winterbees the proportion of the total lipids sinks somewhat. The proportion of fats, strictly speaking of the total lipid, show variations among the bees, while the proportion of phosphatids remains at a nearly constant 3 per cent. The strikingly advanced proportion of the other lipoids among the wax-building bees may be connected with the production of wax.
2. The iodine value increases from the freshly-hatched bees up to the forager bees and falls again nearly to the half with the winterbees. The acid value has a maximum with the wax-building bees and lies approximately one third lower in the winter. The saponification value always remains equal.
3. By the chromatography a qualitatively constant composition of the fatty acids is achieved among all bees. In the saturated fraction are shown: lauric acid (C_{12}), palmitic acid (C_{16}) and stearic acid (C_{18}); in the unsaturated fraction only C_{12} - and C_{18} -acids were found.
4. From the quantitative differences in the proportion of the single acids is concluded that the production of wax and hibernation take increased claims on the metabolism of fat, which affects the whole body fat and which can be equalized

only partly by the natural food.

5. In the lipid analysis of the other insects, *Calliphora* shows a total lipid proportion of 12.7 per cent, including 3.5 per cent phosphatids; *Tenebrio* contains 16.2 per cent (with 2 per cent phosphatids) and *Schistocerca* 18.6 per cent (with 3 per cent phosphatids) of the dry weight as total lipid.
6. With *Calliphora* in the saturated fraction is found only palmitic acid and stearic acid. The C_{14} - and C_{20} -acids, as well as the C_{16} - and C_{18} -acids, which are demonstrated in the unsaturated fraction, are interpreted as a result of the nutrition of the *Calliphora* larvae. *Tenebrio* and *Schistocerca* show also only saturated C_{16} - and C_{18} -acids, but in the unsaturated fraction C_{12} -acid as well as C_{16} - (only with *Tenebrio*) and C_{18} -acids.
7. The four representatives of the different insect orders are compared by the qualitative and quantitative values of the analysis and the attempt has been made to interpret the results in connection with the nutrition and the different basic metabolic processes of the species. -

Literatur.

- ADAMS, R.: Journ. Americ. Chem. Soc. 44, 1397 (1922).
- BACHSTETZ, M. und A. ARAGON: Journ. Americ. Pharm. Assoc. 31, 145
(1942).
- BALDWIN, E.: Biochemie, Einführung in ihre Dynamik; Chemie Verlag GmbH - Weinheim/Bergstraße, 1957.
- BERGMANN, W.: Journ. Biol. Chem. 114, 27 (1936).
- BLOOR, W.R. und R.H. SNIDER: Journ. Biol. Chem. 87, 399 (1930).
- COLLIN, G.: Biochem. Journ. 27, 1373 (1933).
- DAECKE, H.: Math.-Naturw. Unterr. 6, 134 (1953/1954).
- DEUEL, H.J.jun.: The Lipids, Their Chemistry And Biochemistry; Interscience Publication New York, 1951, 1955 And 1957.
- FISKE und SUBBAROW: Journ. Biol. Chem. 66, 375 (1925).
- GIROL, M.L. und F.J.GIROL: Ciencia 4, 215 (1943).
- GORBACH, G.: Mikrochem.Verein.Mikrochem.Acta 31, 302 (1944).
- GORBACH, G.: Fette und Seifen 51, 95 (1944).
- GROBFELD, G.: Zft.Unters. Lebensm. 62, 441 (1931).
- HASTINGS, E. und J.H.PEPPER: Arch. Biochem. 4, 89 (1944).
- HENRIQUES, R.: Zft. Angew. Chem. 1895, 221 (1895); 1897, 366 (1897).
- HILDITCH, T.P.: The Chemical Constitution of Natural Fats; Chapman And Hall, London 1949 .
- HOPPE - SEYLER/THIERFELDER: Handbuch der Physiologisch- und Pathologisch-Chemischen Analyse; Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg; III/2, 895 ff. (1955).
- JANOT, M.M. und P.FAUDEMAY: Bull. Soc. Chim. 4, 1149 (1937).
- JYER, B.H. und P.R.AYYER: Journ.Ind. Inst. Sci. 4A, 40 (1931).
- KAPITEL, W.: Fette und Seifen 58, 91 (1956).
- KAUCHER, M.; H.GALBRAITH; V.BUTTON und H.H.WILLIAMS: Arch. Biochem. 3, 203 (1943).
- KAUFMANN, H.P.: Analyse der Fette und Fettprodukte, einschließl. Wachse, Harze und verwandter Stoffe; Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958.
- KAUFMANN, H.P. und J.POLLERBERG: Fette und Seifen 59, 815 (1957).

- LEUPOLD und EBERHAGEN: Klin. Wochenschrift 36, 484 (1958).
- LOHMANN, K. und JENDRASSIK: Biochem. Zft. 26 (1927).
- MANUNTA, C.: Atti Acad. Naz. Lincei VI 17, 309 (1933).
- PEPPER, H. J. und E. HASTINGS: Mont. Agr. Exp. Sta. Bull. 413 (1943).
- ROSENMUND, K. W. und W. KUHNHENN: Zft. Nahrungs- und Genussmittel 46, 154 (1923).
- SCHULZ, F. N. und M. BECKER: Biochem. Zft. 232, 189 (1931).
- SLIFER, E. H.: Physiol. Zool. 3, 503 (1930).
- SMITH, J. A. B.: Annual Review of Biochem. 2, 93 (1940).
- THOMS, H.: Chem. Zentralblatt 2, 2052 (1913).
- TIMON - DAVID, M. J.: Compt. Rend. Séanc. Soc. Biol. 96, 1225 (1927).
- TIMON - DAVID, M. J.: Compt. Rend. Soc. Biol. 99, 1799 (1928 a).
- TIMON - DAVID, M. J.: Bull. Soc. Chim. Biol. 10, 784 (1928 b).
- TIMON - DAVID, M. J.: Compt. Rend. Soc. Biol. Paris 106, 829 (1931).
- UENO, S. und S. KOMORI: Journ. Soc. Chem. Ind. Jap. 40, 432 (1937).
- WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1957.
- ZAKOLSKA, Z.: Bull. Ass. Anat. Paris 2, 515 (1929).
-

Lebenslauf

Ich, Gerhard Joachim Otto A l b r e c h t wurde am 16. Januar 1935 als dritter Sohn meiner Eltern, Hauptlehrer Willy Albrecht und seiner Ehefrau Cilly Albrecht, geborene Waldhier, in Breitenbrunn bei Wunsiedel/Fichtelgebirge (Obfr.) geboren. Mit 6 Jahren trat ich in die Volksschule in Wunsiedel ein, die ich bis zum Dezember 1945 besuchte. Am 8. Januar 1946 wechselte ich auf die Oberrealschule für Jungen und Mädchen in Wunsiedel über, wo ich nach dem 9. Schuljahr 1954 das Abitur ablegte. Im Wintersemester 1954/55 kam ich nach München, um an der Universität Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Geographie) zu studieren. Ich stehe nun im 13. Semester und beabsichtige im Wintersemester 1960/61 zu promovieren und im Herbst 1961 das Staatsexamen für das Lehramt an höhere Schulen abzulegen.

